

المجلد 22 - العددان 2/1

يناير/ فبراير 2006

SCIENTIFIC
AMERICAN

January/ February 2006

مجلة العلوم

الفرع العربي للمجلة ساینس فیلڊز لايف ساینس
تصدر شهرياً في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي



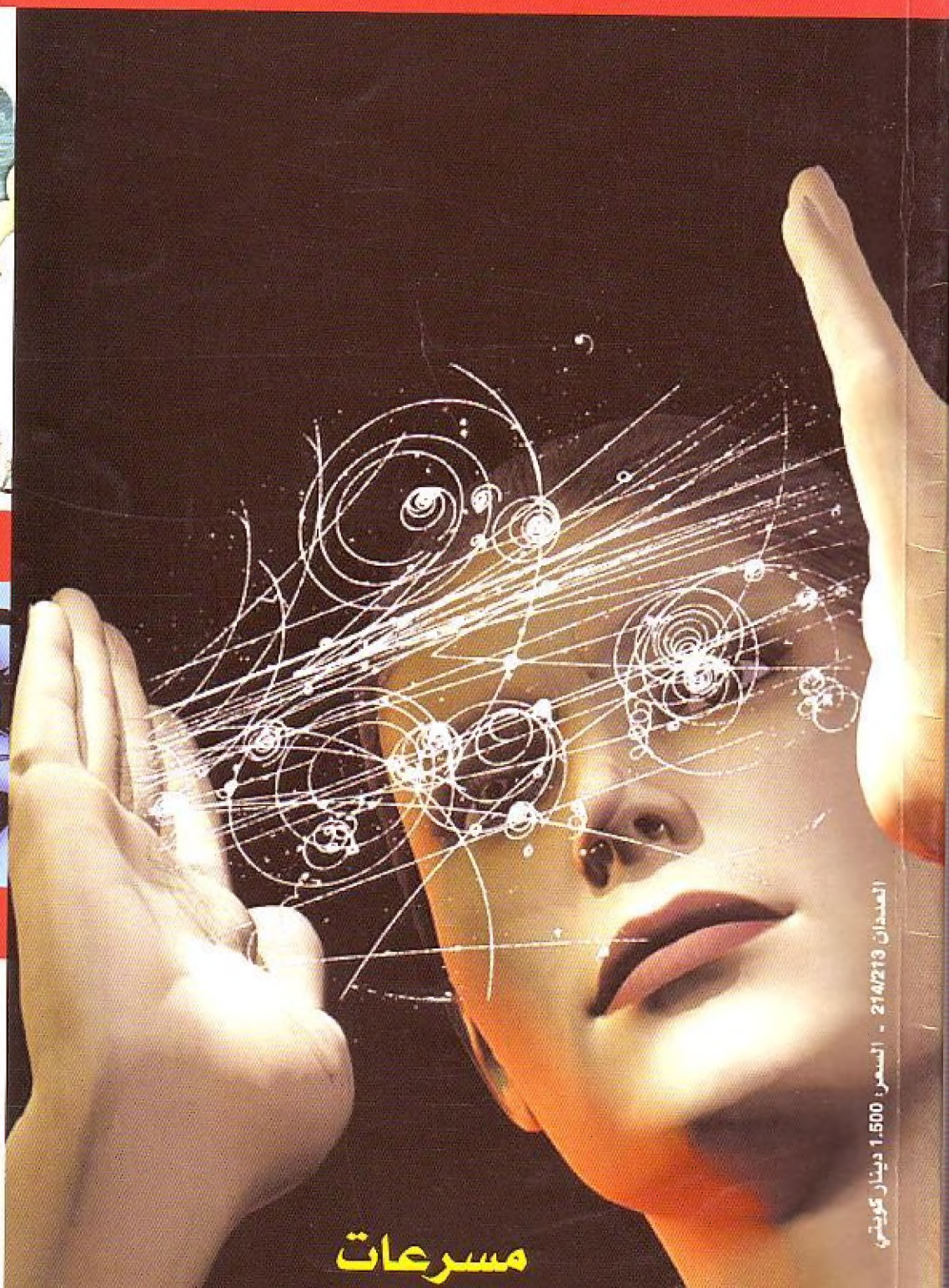
تقانة Wi-Fi الذكية



الذكاء الوجداني



مسرعات



العددان 214/213 - السعر: 1.500 دينار كويتي

ترجمة في مراجعة

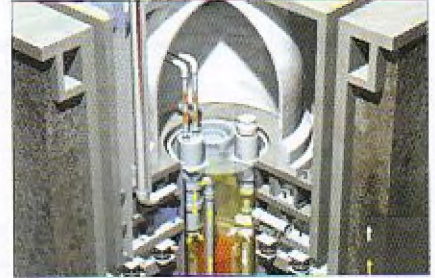
المقالات

استخدام أذكي للنفايات النووية

حازم سوماني - أحمد فؤاد باشا

<H.W. هانوم> - <E.G. مارش> - <S.G. ستانفورد>

تستطيع مقاعلات النيوترونات السريعة استخلاص المزيد من طاقة الوقود النووي المعاد تدويره، والحد من خطورة انتشار الأسلحة النووية، وكذلك اختصار الزمن اللازم لعزل النفايات النووية.



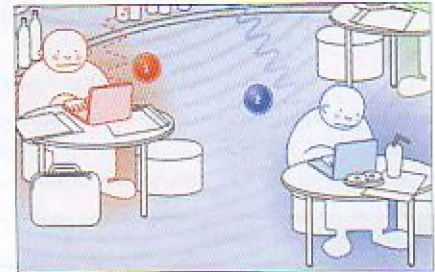
4

تقانة Wi-Fi الذكية

غسان فلوح - فاروق بدرخان

<A. ميلز>

أصبح النفاذ اللاسلكي إلى الإنترنت عن طريق التقانة Wi-Fi أكثر شيوعاً، ولهذا جرى الارتقاء بهذه التقانة كي يتسنى للمستخدمين الحصول على خدمة سريعة وموثوقة.



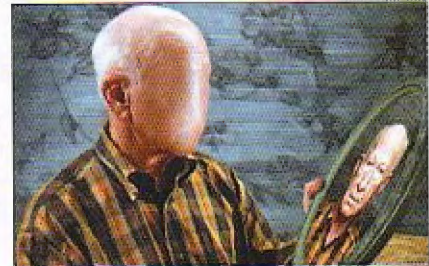
12

البيولوجيا العصبية للذات

زياد القطب - رياض الطوجي

<C. زيمر>

كيف يقود نشاط الدماغ إلى حس ثابت بوحدة الذات لدى صاحبه؟ سؤال يحاول البيولوجيون الإجابة عنه.



20

محركات تعرف فوق البيانات الحاسوبية

عمر البزري - عدنان الحموي

<G. ستكنس>

تصاميم حاسوبية جديدة تعالج بكفاءة أكثر دقوى البيانات من أجل الكشف عن الفيروسات الحاسوبية والسمامات (الإعلانات والرسائل المضممة على الإنترنت).



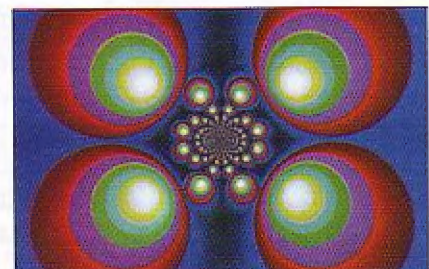
26

الألف طريقة وطريقة لقابلية المكاملة

أبو بكر سعدالله -

<D. برنارد> - <P. دي فرانسيسكو>

إن المسائل الفيزيائية التي يمكننا حلها حلاً دقيقاً - والتي نسميها مسائل قابلة للمكاملة أو قابلة للحل - هي مسائل نادرة. وقد استطاع الفيزيائيون الربط بين ظواهر مختلفة بتحويل مسائل معقدة إلى مسائل يمكن حلها، وذلك بفضل الاستفادة من تناظرات خفية.



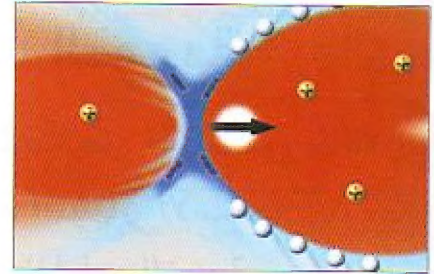
30

مسرعات بلازمية

بسام المعصراني - حاتم النجدي

<Ch> جوشي

نوع جديد من المسرعات الجسيمية الملمة إلى حد إمكان وضعها على طاولة، سوف يختزل حجوم المصادمات وتكلفتها، ويطلق عددا كبيرا من تطبيقات الطاقة المنخفضة.



38

الذكاء الوجداني

عزت قرني - فهمي جدعان

<D> كريوال - <P> سالفو

إن الذكاء ليس مجرد «نسبة ذكاء» (IQ) المرء، إذ إنه يقوم أيضا على ملكة إدراك الحالات الوجدانية لديه ولدى الآخرين وتفسيرها، وعلى معرفة كيفية التعبير عن هذه الحالات الوجدانية وإدارتها.



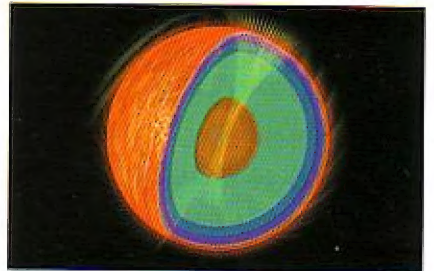
44

المكنيتارات: نجوم فائقة المغنطيسية

علاء إبراهيم - خضر الأحمد

<Ch> كوفليوتو - <C.R> دانكن - <Ch> طويسن

بعض النجوم فائقة المغنطيسية لدرجة أنها تُصدر دفقات هائلة من الطاقة المغنطيسية، وتغير الطبيعة الكونية للخلاء.



52

داخل دماغ إنسان ذاكرته خارقة

زياد القطب - عدنان الحموي

<A.D> ترفيرت - <D.D> كريستسن

إن الغرائب التشريحية في دماغ «كيم بيك» ذي الذاكرة الخارقة، والذي كان ملهم فيلم رجل المطر Rain Man، تقدم تلميحات حول الكيفية التي تعمل بها ذاكرته المذهلة.



60

مقابل صوتي للثقوب السوداء

نضال شمعون - —

<A.T> جاكوسون - <R> بارتيتاني

تسلك الموجات الصوتية المنتشرة في مائع سلوك الموجات الضوئية المنتشرة في الفضاء. وحتى الثقوب السوداء لها ما يقابلها صوتيا. أفلا يمكن للزمكان space-time أن يكون نوعا خاصا من الموائع مثل الأثير في فيزياء ما قبل أينشتاين؟



64

73 أخبار علمية

- استدلال مضاد
- الرنا (RNA) يهبط إلى الإنقاذ
- لهب نادر
- احتراق مرتين

استخدام أذكي للنفايات النووية^(*)

تستطيع مفاعلات النيوترونات السريعة استخلاص المزيد من طاقة الوقود النووي المعاد تدويره، والحد من خطورة انتشار الأسلحة النووية، وكذلك اختصار الزمن اللازم لعزل النفايات النووية.

<H. W. هانوم> - <E. G. مارش> - <S. G. ستانفورد>

النيوترونات المنبعثة أن تصدم ذرات انشطارية مجاورة أخرى مسببة انقسامها ومولدة بذلك تفاعلا نوويا متسلسلا⁽¹⁾ تنقل الحرارة الناتجة إلى خارج المفاعل حيث تحوّل الماء إلى بخار يستخدم لتشغيل عتقات تقود مولدات كهربائية.

واليورانيوم 238 ليس مادة انشطارية، وإنما يسمى «قابلا للانشطار» لأنه قد ينقل أحيانا عند قذفه بنيوترون سريع. كما يقال أحيانا إنه خصب fertile لأنه عندما تمتص ذرة يورانيوم 238 نيوترونا من دون أن تنشط، فإنها تتحول إلى البلوتونيوم 239، وهو بدوره انشطاري مثل اليورانيوم 235 ويمكن له المحافظة على بقاء تفاعل متسلسل. بعد نحو ثلاث سنوات من التشغيل، عندما ينزع الفنيون الوقود المستهلك عادة من أحد المفاعلات الحالية بسبب تدني حالته نتيجة الإشعاع واستنفاد اليورانيوم 235 منه، فإن البلوتونيوم يسهم في أكثر من نصف ما تولده المنشأة من كهرباء.

يتم إبطاء (أو تهدئة) النيوترونات في مفاعل حراري - والتي تكون سريعة عند ولادتها - من خلال تأثراتها مع الذرات المجاورة ذات الوزن الذري المنخفض مثل الهيدروجين في الماء الذي يتدفق عبر قلب المفاعل، وجميع المفاعلات النووية التجارية الـ 440 أو نحوها، باستثناء مفاعلين اثنين،

المقاربة أن ينخفض النشاط الإشعاعي للنفايات المتولدة إلى مستويات آمنة خلال بضع مئات من السنين، مزيلا بذلك الحاجة إلى عزلها لعشرات الآلاف من السنين.

ولكي تستطيع النيوترونات إحداث انشطارات نووية بفعالية يجب أن تكون حركتها إما بطيئة أو عالية السرعة. تضم معظم منشآت الطاقة النووية الموجودة حاليا ما يدعى مفاعلات حرارية⁽²⁾، وهي تشغل بنيوترونات ذات سرعة (أو طاقة) منخفضة نسبيا تصطدم مرتدة عن قلب المفاعل، وعلى الرغم من أن المفاعلات الحرارية تنتج الحرارة - ومن ثم الكهرباء - بكفاءة عالية، فإنها غير قادرة على تقليل النفايات المشعة الناتجة إلى الحد الأدنى.

تنتج جميع المفاعلات الطاقة بشرط نوى ذرات فلز ثقيل (ذي وزن ذري عال)، وبشكل رئيسي اليورانيوم أو عناصر مشتقة منه. يوجد اليورانيوم في الطبيعة كخليط من نظيرين: اليورانيوم 235 القابل للانشطار بسهولة (ويقال إنه «انشطاري» fissile) واليورانيوم 238 الأكثر استقرارا بكثير.

يتم قذح نار اليورانيوم في مفاعل ذري والمحافظة على أوارها بوساطة النيوترونات. عندما تصدم نواة ذرة انشطارية بنيوترون، وخاصة بنيوترون بطيء، فإنها ستنفلق على الأرجح (تنشط) محررة بذلك كميات كبيرة من الطاقة وعدة نيوترونات أخرى. يمكن عندئذ لبعض هذه

على الرغم من القلق العام القديم حول أمان الطاقة النووية، فإن كثيرا من الناس أخذوا يدركون أنها قد تكون أكثر طرق توليد كميات كبيرة من الكهرباء رفقا بالبيئة. تقوم عدة دول - من بينها البرازيل والصين ومصر وفنلندا والهند واليابان وباكستان وروسيا وكوريا الجنوبية وفيتنام - ببناء منشآت نووية، أو تخطط لبنائها. ولكن هذا التوجه العام لم يمتد حتى الآن إلى الولايات المتحدة، حيث تعود آخر الأعمال في منشآت كهذه إلى ما قبل 30 عاما.

قد تكون الطاقة النووية بالفعل، فيما إذا طوّرت بطريقة حساسة، مستدامة لا تنضب، وقد يمكن تشغيلها دون أن تسهم في تغير المناخ. وهناك على وجه الخصوص شكل جديد نسبيا من التقانة النووية قد يتغلب على المثالب الأساسية للطرق الحالية: أي القلق من حوادث المفاعلات، واحتمال تحويل الوقود النووي إلى أسلحة شديدة الفتك، وإدارة النفايات المشعة الخطيرة والطويلة العمر، واستنزاف احتياطي اليورانيوم العالمية المحددة اقتصاديا. ستجمع دورة الوقود النووي هذه بين اختراعين: المعالجة التعدينية الحرارية⁽³⁾ (طريقة عالية الحرارة لإعادة تدوير نفايات المفاعلات وتحولها إلى وقود) ومفاعلات نيوترونات سريعة متقدمة تستطيع حرق ذلك الوقود. يمكن بهذه

(*) العنوان الأصلي: SMARTER USE OF NUCLEAR WASTE
(1) processing pyrometallurgical
(2) thermal reactors
(3) nuclear chain reaction



حرارية، ومعظمها - بما فيها مفاعلات الطاقة الأمريكية الـ 103 - تستعمل الماء لإبطاء النيوترونات ولنقل الحرارة المتولدة بالانشطار إلى المولدات الكهربائية المرافقة. ومعظم هذه الأنظمة الحرارية هي ما يدعوه المهندسون مفاعلات ماء خفيف^(١).

في جميع منشآت الطاقة النووية تُستهلك ذرات الفلز الثقيل «باحترق» الوقود. ومع أن المنشآت تبدأ بوقود غني بمحتواه من اليورانيوم 235، فإن معظم ذلك اليورانيوم السهل الانشطار ينضب بعد نحو ثلاث سنوات. وعندما ينزع الفنيون الوقود المستنفد^(٢) فإن نحو جزء واحد فقط من عشرين جزءاً من الذرات القابلة للانشطار (اليورانيوم 235 والبلوتونيوم واليورانيوم 238) يكون قد استهلك، ومن ثم فإن ما يسمى الوقود المستهلك مازال يحوي نحو 95% من طاقته الأصلية. إضافة إلى ذلك، يحول قرابة العُشر فقط من خام اليورانيوم المستخرج من المناجم إلى وقود خلال عملية الإثراء (التي يتم خلالها زيادة ملموسة في تركيز اليورانيوم 235). وبذلك فإن أقل من واحد في المئة من إجمالي المحتوى الطاقوي لل خام يستخدم لتوليد الطاقة في المنشآت الحالية.

تعني هذه الحقيقة أن الوقود المستخدم الناتج من المفاعلات الحرارية الحالية ما زال يملك القدرة على إيقاد الكثير من النار النووية. ولما كانت موارد اليورانيوم في العالم محدودة، والعدد المتنامي باستمرار من المفاعلات الحرارية قد يستنفد احتياطات اليورانيوم المتوافرة المنخفضة التكلفة خلال بضعة عقود، فمن غير المعقول أن يرمى بهذا الوقود المستهلك أو «البقايا» المتبقية من عملية الإثراء.

يتألف الوقود المستهلك من ثلاثة أصناف من المواد: نواتج الانشطار التي تشكل نحو 5 في المئة من الوقود المستخدم، وهي النفايات الحقيقية أو رماد النار الانشطارية إن شئت. وهي تتكوّن من مزيج من عناصر أخف نشأت عندما انشطرت الذرات الثقيلة. يكون

وهي عناصر أثقل من اليورانيوم^(٣). وهذا الجزء من الوقود عبارة عن مزيج من نظائر البلوتونيوم مع قدر ملموس من الأمريشيوم americium - وعلى الرغم من أن نظائر ما بعد اليورانيوم لا تشكل سوى واحد في المئة من الوقود المستهلك فإنها تشكل المصدر الأساسي لمشكلة النفايات النووية الحالية. يمتد عمر النصف لهذه الذرات (أي الفترة الزمنية التي ينتصف فيها النشاط الإشعاعي) حتى عشرات الآلاف من السنين، وهذه الخاصية جعلت المنظمين في حكومة الولايات المتحدة يفرضون أن يعزل مخزن النفايات النووية العالية المستوى المزمع إنشاؤه في جبل يوكا بنيفادا الوقود المستهلك لفترة تزيد على عشرة آلاف سنة.

(١) light-water reactors

(٢) يُعرّف الاستنفاد depletion بأنه النسبة المئوية للنقص في عدد الذرات القابلة للانشطار في مجموعات الوقود نتيجة لاستهلاكها في المفاعل النووي.

(٣) العناصر الترانسيورانية، أو عناصر ما بعد اليورانيوم transuranic elements هي ما يلي اليورانيوم من عناصر في الجدول الدوري، أي ما يزيد عدده الذري على 92.

هذا المزيج ذا نشاط إشعاعي عال في البداية لعدة سنوات، وبعد عقد أو نحوه يغلب على النشاط الإشعاعي نظيران: السيزيوم 137 والسترونسيوم 90. وكلاهما يذوب في الماء. ومن ثم يجب احتواؤها بشكل مأمون تماماً. يضمحل النشاط الإشعاعي لهذين النظيرين في ثلاثة قرون تقريباً بعامل 1000 وعندها يزول خطرهما عملياً.

يشكل اليورانيوم معظم الوقود النووي المستهلك (نحو 94 في المئة)، وهو يورانيوم غير منشطر يكون قد فقد معظم ما يحويه من اليورانيوم 235، وهو يشابه اليورانيوم الطبيعي (الذي يحوي بالكاد 0.71 في المئة من اليورانيوم 235 الانشطاري). هذا المكوّن متوسط النشاط الإشعاعي، وعند فصله عن نواتج الانشطار وباقي المواد في الوقود المستهلك يمكن خزنها بسهولة للاستخدام المستقبلي بشكل آمن ضمن منشآت محمية عادية.

إن الجزء الموازن من المواد - وهو الجزء الذي يشكل مشكلة فعلية - يشمل عناصر ما بعد اليورانيوم transuranic،

استراتيجية بالية^(١)

توقع المهندسون النوويون الأوائل أنه سيجري فصل البلوتونيوم المتشكل في وقود المفاعلات الحرارية المستهلك ومن ثم يعاد استخدامه في مفاعلات النيوترونات السريعة والتي تسمى مفاعلات ولودة سريعة^(٢)؛ لأنها مصممة لإنتاج بلوتونيوم أكثر مما تستهلك. تصوّر رواد الطاقة النووية أيضا اقتصادا يتضمن تجارة حرة بالبلوتونيوم. بيد أن البلوتونيوم يصلح للاستخدام في صنع القنابل. ومع انتشار التقنية النووية خارج الدول العظمى الرئيسية فإن هذا الاستخدام المحتمل أدى إلى قلق من انتشار الأسلحة الذرية بشكل غير قابل للسيطرة عليه إلى دول أخرى أو حتى إلى مجموعات إرهابية.

عاجت اتفاقية عدم الانتشار النووي هذه المعضلة جزئيا عام 1986، يمكن للدول الراغبة في جني فوائد تقنية الطاقة النووية أن توقع الاتفاقية وتعد بالآ تحوز أسلحة نووية؛ وبناء على ذلك توافق الأمم التي تمتلك أسلحة على مساعدة الآخرين في تطبيقاتها السلمية. ورغم أن كادرا (فريقا) cadre من المفتشين الدوليين قام منذئذ بمراقبة التزام الأعضاء بالاتفاقية، فإن فعالية هذه الاتفاقات الدولية كانت متفاوته لأنها افتقرت إلى السلطة الفعالة ووسائل التنفيذ الجبري.

نظرة إجمالية/ إعادة التدوير النووي^(٣)

- بغية التقليل من ارتفاع حرارة الكرة الأرضية العالمي بأكبر قدر ممكن، قد تحتاج البشرية إلى توليد القدر الأكبر من الطاقة مستقبلا باستعمال تقانات الطاقة النووية، وهي لا تطلق أي ثنائي أكسيد الكربون بذاتها.
- في حال إنشاء المزيد من منشآت الطاقة النووية الحرارية (أو النيوترونات البطيئة) الحالية فإن الاحتياطيات العالمية من اليورانيوم المنخفض الثمن ستنضب في بضعة عقود. إضافة إلى ذلك فإن كميات كبيرة من النفايات العالية النشاط الإشعاعي المتولدة فقط في الولايات المتحدة يجب تخزينها لعشرة آلاف سنة على الأقل. وهي أكثر بكثير مما يمكن وضعه في مدفن جبل يوكا في نيفادا. والأسوأ من ذلك أن معظم الطاقة التي يمكن استخلاصها من اليورانيوم الأصلي ستكون قد انخرت في النفايات.
- إن استعمال دورة وقود نووي جديدة وأكثر فعالية بكثير - تستند إلى مفاعلات النيوترونات السريعة وإعادة تدوير الوقود المستهلك عبر المعالجة المعدنية الحرارية - سيتيح استخدام قدر أكبر بكثير من طاقة اليورانيوم الموجود في الأرض لإنتاج الكهرباء. ستقلل دورة كهذه توليد نفايات المفاعلات الطويلة العمر ويمكنها أن تدعم توليد الطاقة النووية إلى ما لانهاية.

يحتاج مصممو الأسلحة النووية إلى بلوتونيوم ذي محتوى عال جدا من نظير البلوتونيوم 239، في حين يحتوي البلوتونيوم الناتج من منشآت الطاقة التجارية عادة على مقادير ملموسة من نظائر بلوتونيوم أخرى مما يجعلها صعبة الاستخدام في قنبلة. ومع ذلك فإن استخدام البلوتونيوم الموجود في الوقود المستهلك في الأسلحة ليس أمرا يستحيل تصوره. لذلك فقد حظر الرئيس الأمريكي السابق «جيمي كارتر» إعادة المعالجة المدنية للوقود النووي في الولايات المتحدة عام 1977. وقد برز ذلك بأنه مادام لم يجر بعد استعادة البلوتونيوم من الوقود المستهلك، فإنه لا يمكن استخدامه لصنع قنابل. أراد «كارتر» أيضا أن تكون أمريكا مثالا لباقي العالم، ولكن فرنسا واليابان وروسيا والمملكة المتحدة لم تحذ حذوه، ولذلك فإن إعادة معالجة البلوتونيوم لاستخدامه في منشآت الطاقة مستمرة في عدد من الدول.

مقاربة بديلة^(٤)

عندما أُصدر الحظر كانت «إعادة المعالجة» مرادفا لطريقة «پوريكس» PUREX (مصطلح مشتق من استخلاص البلوتونيوم واليورانيوم)^(٥)، وهي تقنية تم تطويرها لاستيفاء الحاجة إلى بلوتونيوم نقي كيميائيا لأغراض الأسلحة الذرية. ولكن مفاعلات

النيوترونات السريعة الحديثة تتيح استراتيجية إعادة تدوير بديلة لا تتضمن بلوتونيوم نقيًا في أي مرحلة. لذلك فإن المفاعلات السريعة تخفض خطورة استخدام الوقود المستهلك الناتج من توليد الطاقة في إنتاج الأسلحة إلى أدنى حد ممكن، وتؤمن في الوقت نفسه مقدرة فريدة على استخراج أكبر قدر من الطاقة من الوقود النووي [انظر الإطار في الصفحة 8]. أنشئت عدة مفاعلات كهذه لتوليد الطاقة - في فرنسا واليابان وروسيا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة. ومازال اثنان منها قيد التشغيل [انظر: «الجيل التالي من الطاقة النووية»، العلوم، العددان 6/5 (2002)، ص 4].

تستطيع المفاعلات السريعة استخلاص قدر أكبر من طاقة الوقود النووي مقارنة بالمفاعلات الحرارية لأن نيوتروناتها المتحركة بسرعة (طاقة أعلى) تسبب انشطارات ذرية أكثر مما تفعل النيوترونات الحرارية البطيئة. تعود هذه الكفاءة إلى ظاهرتين: أولا، عند سرعات بطيئة يمتص عدد أكبر بكثير من النيوترونات في تفاعلات غير انشطارية وتُفقد. ثانيا، تعمل الطاقة الأعلى لنيوترون سريع على زيادة احتمال انشطار ذرة فلز ثقيل خصب - مثل اليورانيوم 238 - عند صدمها. وبسبب هذه الحقيقة فلن يكون اليورانيوم 235 والبلوتونيوم 239 فقط مرجحين لأن ينشطرا في مفاعل سريع، ولكن قدرا ملحوظا من ذرات ما بعد اليورانيوم الثقيلة سيقوم بذلك أيضا.

لا يمكن استخدام الماء في مفاعل سريع لنقل الحرارة من القلب، لأنه سوف يبطل النيوترونات السريعة. لذا يستخدم المهندسون عادة فلزا سائلا مثل الصوديوم كمبرد وناقل للحرارة. يتمتع الفلز السائل بميزة واحدة كبيرة مقارنة بالماء: تعمل المنظومات المبردة بالماء تحت ضغط عال جدا بحيث إن تشققا صغيرا قد يتطور بسرعة إلى إطلاقا كبيرة

نوع جديد من المفاعلات النووية^(١)

الصوديوم غير المشع بدوره (4)
الحرارة إلى مبادل الحرارة النهائي/
مولد البخار (غير ظاهر) حيث يجري
توليد البخار في الأنابيب المجاورة
المملوءة بالماء. يستعمل البخار الساخن
العالي الضغط بعدئذ لإزالة توربينات
(عنفات) بخارية تُشغل المولدات المنتجة
 للكهرباء. (غير ظاهر).

New Types of Nuclear Reactors (*)
Reactor Safe guards (**)

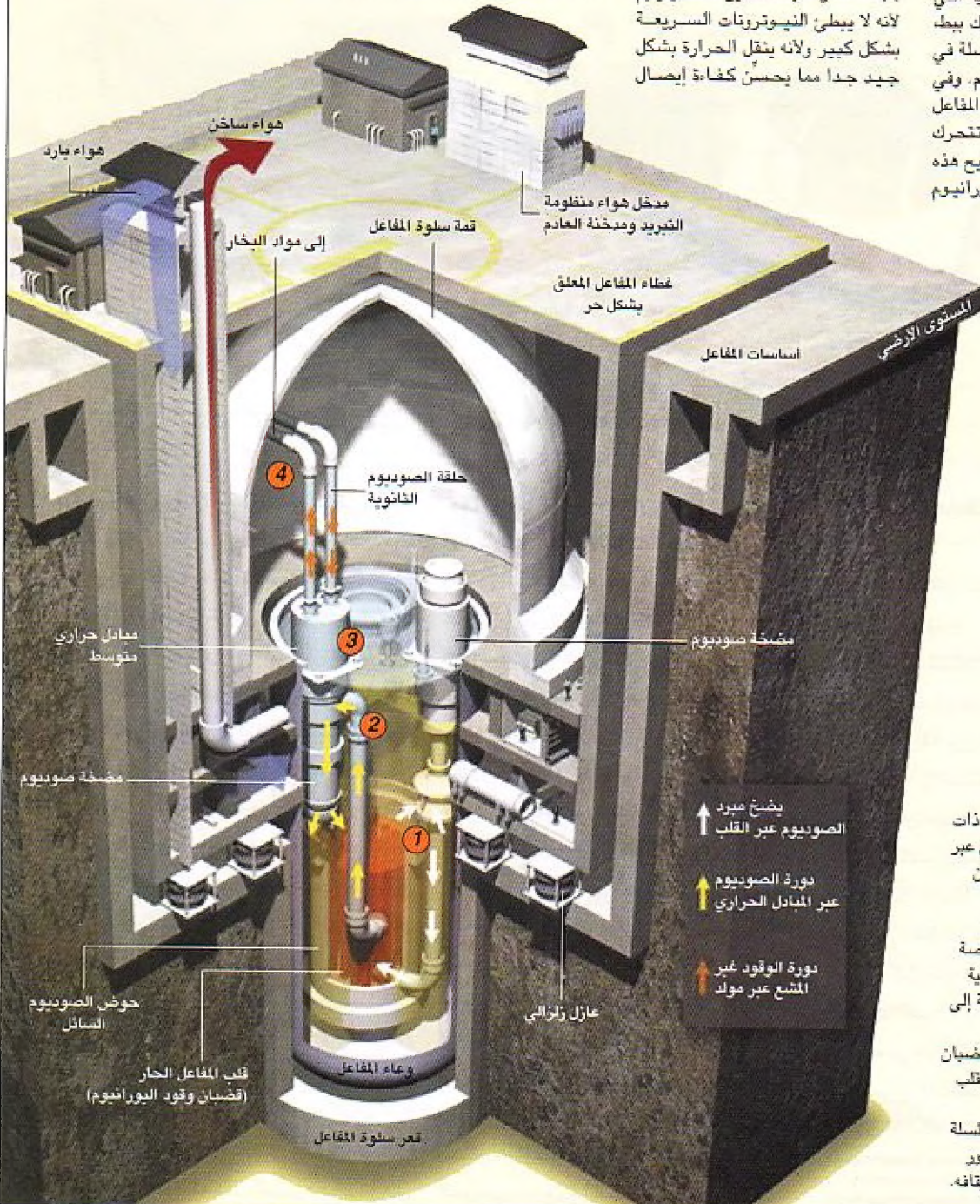
الحرارة إلى منشأة توليد الكهرباء.
وسيعمل مفاعل سريع على النحو
التالي: تؤدي النار النووية المتقدمة في
القلب إلى تسخين الصوديوم السائل
المشحع المار فيه. يوضع بعض الصوديوم
المسخّن إلى مبادل حراري متوسط [2]
حيث سينقل الطاقة الحرارية إلى
الصوديوم السائل غير المشحع الذي
يبتدق في الأنابيب الملائقة والمنفصلة
[3] من حلقة الصوديوم الثانوية. ينقل

والذرات الأثقل متيحة بذلك التقاط قدر أكبر بكثير من طاقة الوقود. وسيحرق المفاعل الجديد وقوداً مصنّعاً من إعادة تدوير وقود المفاعلات الحرارية المستهلك.

وفي معظم تصاميم المفاعلات الحرارية يغمر الماء القلب ليعطي (يهدئ) النيوترونات ويبقيه بارداً. أما المفاعل ALMR فهو يستخدم حوضاً من الصوديوم السائل الدائر كمبرد [1]. اختار المهندسون الصوديوم لأنه لا يعطي النيوترونات السريعة بشكل كبير ولأنه ينقل الحرارة بشكل جيد جداً مما يحسن كفاءة إيصال

قد تستند دورة طاقة نووية أكثر أماناً واستدامة إلى تصميم مفاعلات الفلز السائل المتقدمة (ALMR) الذي جرى تطويره في ثمانينيات القرن العشرين في مختبر أركون الوطني. وكجميع مشكلات الطاقة الذرية فإن منظومة تستند إلى المفاعل ALMR ستستخدم تفاعلات نووية متسلسلة في القلب لإنتاج الحرارة اللازمة لتوليد الكهرباء.

وما يميز المنشآت النووية التجارية الحالية هو المفاعلات الحرارية التي تعتمد على نيوترونات تتحرك ببطء، سيّما لنشر التفاعلات المتسلسلة في وقود اليورانيوم والبلوتونيوم. وفي المقابل فإن منظومة تستند إلى المفاعل ALMR ستستخدم نيوترونات تتحرك بسرعة (ذات طاقة عالية). تتبع هذه العملية استهلاك كامل اليورانيوم



(a.a) ضمانات المفاعل

- خلال التشغيل تدفع مضخات ذات استطاعة عالية مبرد الصوديوم عبر القلب. إذا تعطلت المضخات فإن الجاذبية ستدير المبرد.
- إذا تعطلت مضخات المبرد أو توقفت، فإن تجويزات أمان خاصة ستتيح أيضا للنيوترونات إضافية التسرب إلى خارج القلب مؤدية إلى خفض حرارته.
- في حال الطوارئ تدخل ستة قضبان تحكم ماصة للنيوترونات في القلب لإيقافه فوراً.
- وإذا استمرت التفاعلات المتسلسلة فإن آلاف الكرات من كربيد البور سترمى في القلب ما يضمن إيقافه.



تستخلص عناصر اليورانيوم والأكسينيدات من وقود مفاعلات حرارية مستهلك وتطلى على مصعد وحدة تكرير كيميائية خلال إجراء معالجة حرارية. بعد معالجة أخرى يمكن حرق الوقود الفلزي في مفاعلات النيوترونات السريعة.

صرفاً للبلوتونيوم أو منتجاً صرفاً له، كما يمكن تشغيلها في نمط متعادل من دون ربح أو خسارة، يمكن للمنظومة، عند تشغيلها كمنتج صرف، أن تؤمن مواد إقلاع لمنشآت مفاعلات طاقة سريعة أخرى. يمكن لها، كمستهلك صرف، استنفاد البلوتونيوم الفانض ومواد الأسلحة. عند اختيار نمط التعادل فإن الوقود الإضافي الذي تحتاج إليه المنشأة النووية لن يكون سوى صب (سكب) دوري لليورانيوم المستنفد (يورانيوم تم نزع معظم اليورانيوم الانشطاري 235 منه) لتعويض ذرات المعدن الثقيل التي انشطرت.

أظهرت دراسات الأعمال أن هذه التقنية يمكن أن تكون منافسة اقتصادياً لتقانات الطاقة النووية الحالية [انظر بحث «دبرلي» ضمن «مراجع للاستزادة» في الصفحة 11]. من المؤكد أن إعادة التدوير التعدينية الحرارية ستكون أرخص بكثير من إعادة التدوير بطريقة بوريكس، بيد أنه في الحقيقة

في الصفحة 10]. فعلى سبيل المثال تنتج منشأة مفاعل حراري قدرته الكهربائية 1000 ميغاوات أكثر من 100 طن من الوقود المستهلك في السنة. على النقيض من ذلك فإن النفايات المتولدة سنوياً من مفاعل سريع له نفس الاستطاعة الكهربائية، تتجاوز بقليل الطن الواحد من نواتج الانشطار، إضافة إلى كميات ضئيلة من عناصر ما بعد اليورانيوم. ستكون إدارة النفايات باستخدام دورة المفاعل ALMR مبسطة بشكل كبير. ولما كانت نفايات المفاعلات السريعة لا تحوي كميات ملموسة من عناصر ما بعد اليورانيوم طويل عمر النصف، فإن إشعاعها سيتفكك إلى مستوى الفلز الذي استخرج منه خلال بضعة مئات من السنين بدلاً من عشرات الألوف.

إذا استخدمت حصراً المفاعلات السريعة فإن نقل المواد ذات النشاط الإشعاعي العالي لن يجرى إلا في حالتين: عند نقل نفايات نواتج الانشطار إلى جبل يوكا أو موقع بديل للتخلص منها، أو عند نقل وقود الإقلاع إلى مفاعل جديد. إن تجارة البلوتونيوم ستكون فعلياً قد أزيلت.

يدافع بعض الناس بأن الولايات المتحدة تعمل على برنامج مكثف لمعالجة الوقود المستهلك بطريقة بوريكس التي تنتج مزيجاً من أكاسيد اليورانيوم والبلوتونيوم لإعادةتها إلى مفاعلات حرارية. وعلى الرغم من أن طريقة مزيج الأكاسيد (MOX) تستخدم حالياً لاتلاف فانض بلوتونيوم الأسلحة بحيث يمنع استخدامه في قنابل - وهي فكرة جيدة - فإننا نعتقد أنه من الخطأ نشر البنية التحتية لبوريكس الأكبر بكثير التي ستلزم لمعالجة الوقود المدني. إن كسب الموارد سيكون متوسطاً، في حين تبقى مشكلة النفايات الطويلة المدى، وجميع هذه الجهود لن تؤجل الحاجة إلى مفاعلات سريعة فعالة إلا لفترة قصيرة فقط.

إن منظومة مكونة من مفاعل سريع والمعالجة الحرارية متعددة المزايا بشكل استثنائي. يمكن لها أن تكون مستهلكاً

في المعالجة الحرارية الأمريكية [انظر الإطار في الصفحة المقابلة] يقوم الفنيون بحل الوقود الفلزي المستهلك في حمام مائي، ثم يقوم تيار كهربائي قوي بتجميع انتقائي البلوتونيوم وعناصر ما بعد اليورانيوم الأخرى مع بعض نواتج الانشطار والكثير من اليورانيوم على قطب كهربائي. تبقى معظم نواتج الانشطار وبعض اليورانيوم في الحمام. عندما تتجمع دفعة كاملة يقوم الفنيون بنزع الأقطاب وكشط المواد المتجمعة عن القطب وصهرها ثم يصبونها في قالب، ويرسل القالب إلى خط إعادة تصنيع لتحويلها إلى وقود مفاعل سريع. عندما يشبع الحمام بنواتج الانشطار يقوم الفنيون بتنظيف المحلول ويعالجون نواتج الانشطار المستخلصة بغية التخلص الدائم منها.

لذلك - وخلافاً لطريقة بوريكس الحالية - فإن المعالجة الحرارية تجمع عملياً جميع عناصر ما بعد اليورانيوم (بما فيها البلوتونيوم) مع جزء ملموس من اليورانيوم ونواتج الانشطار. وينتهي قدر صغير جداً من مكوّن ما بعد اليورانيوم في مجرى النفايات النهائي مما يقلل الزمن اللازم للعزل بشكل كبير. إن تجميع نواتج الانشطار مع مواد ما بعد اليورانيوم غير ملائم للأسلحة ولا حتى لوقود المفاعلات الحرارية. من ناحية ثانية، لا يعد هذا المزيج مقبولاً فقط وإنما هو مفيد في وقود المفاعلات السريعة.

وعلى الرغم من أن تقنية إعادة التدوير التعديني الحراري ليست جاهزة تماماً للاستخدام التجاري الفوري فإن الباحثين بينوا مبادئها الأساسية، وتم عرضها بنجاح على مستوى الريادة في منشآت طاقة عاملة في كل من الولايات المتحدة وروسيا. ولكنها لم تعمل بعد على نطاق الإنتاج الكامل.

مقارنة الدورات^(١)

تتشابه الإمكانيات التشغيلية للمفاعلات السريعة والحرارية من عدة أوجه، ولكن الفروق جسيمة في نواح أخرى [انظر الإطار

مقارنة ثلاث دورات للوقود النووي^(*)

يمكن استخدام ثلاث مقاربات لحرق الوقود النووي والتعامل مع نفاياته. فيما يلي عدد من مزاياها.

إعادة تدوير الوقود

يحرق الوقود المعداد تدويره عبر معالجة معدنية حرارية في مفاعلات نيوترونات سريعة متقدمة. نموذج أولي من التقانة.

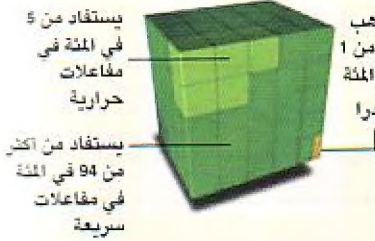
إعادة تدوير البلوتونيوم

يحرق الوقود في مفاعلات حرارية، بعدها يستخلص البلوتونيوم باستخدام معالجة بوريكس. تطبق في دول متقدمة أخرى.

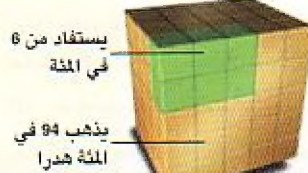
مسلك المرة الواحدة

يحرق الوقود في مفاعلات حرارية ولا تعاد معالجته. تطبق في الولايات المتحدة.

استخدام الوقود



يستطيع استرجاع أكثر من 99 في المئة من الطاقة الموجودة في وقود المفاعلات الحرارية المستهلك. عند نفاذ وقود المفاعلات النووية المستهلك يمكن أن يحرق اليورانيوم المستنفد واسترجاع أكثر من 99 في المئة من الطاقة المتبقية في فلز اليورانيوم.



يستفيد من نحو 6 في المئة من الطاقة الموجودة في وقود المفاعل الأصلي وأقل من 1 في المئة من الطاقة الموجودة في فلز اليورانيوم. لا يستطيع حرق اليورانيوم المستنفد أو اليورانيوم الموجود في الوقود المستهلك.



مصادر الوقود الأصلي

يستفيد من قرابة 5 في المئة من الطاقة الموجودة في وقود مفاعل حراري وأقل من 1 في المئة من الطاقة الموجودة في فلز اليورانيوم (المصدر الأساسي للوقود). لا يستطيع حرق اليورانيوم المستنفد (الجزء المنزوع من الفلز عند إغنائه) أو اليورانيوم الموجود في الوقود المستهلك.

المنشآت والعمليات اللازمة

الأحمر: يتطلب حمايات مادية شديدة. البرتقالي: يحتاج فقط إلى حمايات مادية متوسطة. الأزرق: خطورة محتملة على الأجيال القادمة.

مناجم يورانيوم

إغناء الوقود لتركيز اليورانيوم الإشعاعي.

تصنيع الوقود.

منشآت طاقة.

مخزن مؤقت للنفايات (إلى أن يمكن التخلص النهائي من النفايات).

مخزن دائم قادر على عزل النفايات بشكل آمن لعشرة آلاف سنة.

(لا يحتاج إلى تعامل بالبلوتونيوم أو عمليات معالجة نفايات).

مناجم يورانيوم

إغناء الوقود.

خلط بلوتونيوم (مزج).

تصنيع وقود خارج الموقع.

إعادة معالجة بطريقة بوريكس خارج الموقع.

منشآت طاقة.

مخزن مؤقت للنفايات.

معالجة النفايات خارج الموقع.

مخزن دائم قادر على عزل النفايات بشكل آمن لعشرة آلاف سنة.

تصنيع وقود ضمن الموقع.

معالجة معدنية حرارية ضمن الموقع (إعادة تدوير فورية للوقود المستهلك).

منشآت طاقة.

معالجة الوقود ضمن الموقع.

مخزن قادر على عزل النفايات لأقل من 500 سنة.

(لا حاجة إلى التعدين لقرون؛ لا حاجة إلى إغناء اليورانيوم أبداً).

مصدر البلوتونيوم

يزداد مخزون البلوتونيوم في الوقود المستعمل بأطراف.

ينخفض فائض البلوتونيوم الصالح للأسلحة ببطء عبر مزجه في وقود مازج.

يزداد مخزون البلوتونيوم في الوقود المستعمل وهو متاح للتجارة الاقتصادية.

ينخفض فائض البلوتونيوم الصالح للأسلحة ببطء عبر مزجه في وقود مازج.

يتقلص المخزون في آخر الأمر إلى ما هو موجود في المفاعلات وفي إعادة التدوير.

يمكن أن ينخفض فائض البلوتونيوم الصالح للأسلحة بسرعة.

البلوتونيوم الموجود في الوقود غير نقي لدرجة أنه لا يصلح للتحويل إلى أسلحة.

نوع النفايات

يعزل الوقود المستعمل الغني بالطاقة في حاويات ومنشآت تخزين تحت أرضية.

النفايات نشيطة إشعاعياً لدرجة أنه يمكن تعريضها بأنها «محمية ذاتياً» ليضع مئات من السنين ضد معظم المجموعات الراضية بالحصول على البلوتونيوم 239 لصنع أسلحة نووية.

نفايات مزج غنية بالطاقة وثابتة لدرجة عالية. النفايات نشيطة إشعاعياً لدرجة أنه يمكن تعريضها بأنها «محمية ذاتياً» ليضع مئات من السنين ضد معظم المجموعات الراضية بالحصول على البلوتونيوم 239 لصنع أسلحة نووية.

يمكن إعداد أشكال النفايات حسب الطلب ولا تحتاج إلى المحافظة عليها إلا لـ 500 سنة وبعدها لن تكون المواد خطرة.

نظراً لعدم وجود البلوتونيوم فلن تكون النفايات صالحة لصنع الأسلحة.

تخطيطاً لتوسعة مصادرها الطاقية باستخدام المفاعلات السريعة. تدرك أن مفاعلاتها الأولى ستستخدم وقوداً أكسيمياً أو كريبدياً وليس وقوداً فلزياً - وهو ليس السبيل الأمثل وقد يكون اختياره ثم لأن تقانة إعادة المعالجة بوريكس ناضجة، في حين ما زالت المعالجة الحرارية غير مثبتة تجارياً ما زال هناك متسع من الوقت كي تستكمل الولايات المتحدة التطوير الأساسي لمخطومات مفاعلات سريعة/ معالجة حرارية للوقود الفلزي. في المستقبل المنظور تبقى الحقيقة القاسية أن الطاقة النووية فقط هي القادرة على تلبية حاجات البشرية الطويلة الأمد من الطاقة مع المحافظة على البيئة. وكي يستمر توليد طاقة نووية مستدامة على نطاق واسع، يجب أن يدوم توريد الوقود النووي لوقت طويل، ويعني ذلك أن دورة الطاقة النووية يجب أن تتمتع بصفات المفاعل ALMR والمعالجة الحرارية. ويبدو أن الوقت مناسب لاتخاذ هذا المنحى الجديد باتجاه تطوير واع للطاقة.

Coupling Reactor Types (١٠)

الآن مستنفد ويمكن ادخاره للاستعمال المستقبلي كوقود مفاعل سريع. لا يمكن بالطبع تحقيق سيناريو كهذا خلال ليلة وضحاها. إذا بدأنا اليوم فإن أول المفاعلات السريعة قد يبدأ العمل بعد نحو 15 سنة. من الجدير بالذكر أن ذلك البرنامج متوافق بشكل معقول مع الجدول الزمني المخطط لإرسال وقود المفاعلات الحرارية المستهلك إلى جبل يوكا. يمكن بدلاً من ذلك إرسالها لإعادة تدويرها كوقود مفاعل سريع. ومع بلوغ المفاعلات الحرارية الحالية نهاية عمرها التشغيلي يمكن استبدال مفاعلات سريعة بها. إذا تم ذلك فلن تكون هناك حاجة إلى استخراج فلزات اليورانيوم لعقود، ولن تكون هناك أي طلبات أبداً لإثراء اليورانيوم. وعلى المدى الطويل جداً فإن إعادة تدوير وقود المفاعلات السريعة ستكون أمراً فعالاً إلى درجة أن الموارد المتوافرة حالياً من اليورانيوم ستبقى إلى ما لانهاية. إن كلا من الهند والصين أعلنتا أنهما

لا يمكن معرفة قابلية المنظومة للبقاء اقتصادياً ما لم يتم إثباتها. إن الاقتصاديات الكلية لأي مصدر طاقة لا تعتمد فقط على التكاليف المباشرة، بل تعتمد أيضاً على ما يدعوه الاقتصاديون «الخارجيات» externalities، وهي تكاليف مفاعيل خارجية يصعب تقديرها كمياً تنجم عن استخدام التقانة، على سبيل المثال عندما تحرق الفحم أو النفط لتوليد الطاقة فإن مجتمعاتنا تتقبل الآثار الصحية الضارة والتكاليف البيئية التي تتضمنها. لذلك فإن التكاليف الخارجية في الواقع تناصر توليد طاقة الوقود الأحفوري، إما مباشرة أو عبر آثار غير مباشرة على المجتمع ككل. وعلى الرغم من صعوبة تقدير «الخارجيات» فإن المقارنات الاقتصادية التي لا تأخذها بعين الاعتبار ستكون غير واقعية ومضللة.

الربط بين أنماط المفاعلات

إذا دخلت المفاعلات المتقدمة حيز الاستخدام، فإنها ستحرق في البداية وقود المفاعلات الحرارية المستهلك الذي جرت إعادة تدويره بمعالجة حرارية. ستنتقل هذه النفايات، وهي مخزنة بشكل مؤقت حالياً في الموقع، إلى منشآت تستطيع معالجتها في ثلاث قنوات خرج: القناة الأولى تكون عالية النشاط الإشعاعي، وتضم معظم نواتج الانشطار مع قدر ضئيل لا يمكن تجنبه من عناصر ما بعد اليورانيوم، سيتم تحويلها إلى شكل مستقر فيزيائياً - قد تكون مادة شبيهة بالزجاج - ومن ثم تنقل إلى جبل يوكا أو موقع دائم آخر للتخلص النهائي.

والقناة الثانية ستلتقط عملياً جميع عناصر ما بعد اليورانيوم مع بعض اليورانيوم ونواتج الانشطار، وسيجري تحويلها إلى وقود فلزي للمفاعلات السريعة، ومن ثم تحال إلى مفاعلات من النوع ALMR.

والقناة الثالثة التي تبلغ نسبتها نحو 92 في المئة من وقود المفاعلات الحرارية المستهلك ستحتوي معظم اليورانيوم، وهو

المؤلفون

William H. Hannum - Gerald E. Marsh - George S. Stanford

فيزيائيون عملوا على تطوير المفاعلات السريعة في مختبرات أركونا الوطنية التابعة لوزارة الطاقة الأمريكية. «هانوم» رئيس أبحاث تطوير الفيزياء النووية وأمان المفاعلات في وزارة الطاقة. وكان نائب المدير العام لوكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتطوير الاقتصادي في باريس. عمل «مارش» وهو زميل في الجمعية الفيزيائية الأمريكية، مستشاراً في وزارة الدفاع الأمريكية حول التقانات والسياسات النووية الاستراتيجية في إدارات عدد من الرؤساء السابقين. وهو مؤلف مشارك في الكتاب:

The Phantom Defense: America's Pursuit of the Star Wars Illusion (Praeger Press).

أما «ستانفورد» الذي تركّز أبحاثه على الفيزياء النووية التجريبية وفيزياء المفاعلات وأمان المفاعلات السريعة، فهو مؤلف مشارك للكتاب:

Nuclear Shadowboxing: Contemporary Threats from Cold War. Weaponry (Fidler Doubleday)

مراجع للاستزادة

Breeder Reactors: A Renewable Energy Source. Bernard L. Cohen in *American Journal of Physics*, Vol. 51, No. 1; January 1983.

The Technology of the Integral Fast Reactor and Its Associated Fuel Cycle. Edited by W. H. Hannum. *Progress in Nuclear Energy*, Special Issue, Vol. 31, Nos. 1-2; 1997.

Integral Fast Reactors: Source of Safe, Abundant, Non-Polluting Power. George Stanford. National Policy Analysis Paper #378; December 2001. Available at www.nationalcenter.org/NPA378.html

LWR Recycle: Necessity or Impediment? G. S. Stanford in *Proceedings of Global 2003. ANS Winter Meeting*, New Orleans, November 16-20, 2003. Available at www.nationalcenter.org/LWRStanford.pdf

S-PRISM Fuel Cycle Study. Allen Dubberly et al. in *Proceedings of ICAPP'03*. Córdoba, Spain, May 4-7, 2003, Paper 3144.

تقانة Wi-Fi الذكية⁽¹⁾

أصبح النفاذ اللاسلكي إلى الإنترنت عن طريق تقانة Wi-Fi⁽²⁾ أكثر شيوعاً، ولهذا جرى الارتقاء بهذه التقانة كي يتسنى للمستخدمين الحصول على خدمة سريعة وموثوقة.

(A. هيلز)

لقد حدث الكثير في عالم اللاسلكي خلال السنوات الـ 12 التي انقضت منذ تدشين الشبكة اللاسلكية في جامعة كارنيكي ميلون، حيث ظهر العديد من المشكلات الشائكة نتيجة الزيادة المطردة في استخدام تقانة Wi-Fi، إلا أن تقدماً ملموساً جرى تحقيقه في حل هذه المشكلات. ولكن، قبل التطرق إلى هذه التطورات لا بد من مناقشة كيفية عمل تقانة Wi-Fi.

كيفية عمل تقانة Wi-Fi⁽³⁾

تتكون الشبكات Wi-Fi من حواسيب متنقلة مجهزة بالتقانة Wi-Fi (أجهزة حاسوبية laptop أو محمولة باليد)، أو هواتف خاصة بالتقانة Wi-Fi، إضافة إلى نقاط نفاذ إلى الشبكة access points (APs). ونقاط النفاذ هذه هي محطات قاعدية base stations تتواصل بالراديو وبالأسلاك بكل من الأنظمة المحمولة وبالشبكات التي تؤمن لها في نهاية الأمر مدخلا إلى الإنترنت. وتستطيع كل نقطة نفاذ إرسال واستقبال إشارات ضمن مجال محدود يراوح عادة بين 20 و 50 متراً داخل بناء ما. تشكل منطقة التغطية لنقطة نفاذ خلية ثلاثية الأبعاد تشبه كرة مجوفة (تماثل خلية هاتف نقال إلا أنها أصغر بكثير)، تستطيع أن تخدم العديد من التجهيزات النقالة الواقعة ضمنها في وقت واحد [انظر الشكل في الصفحة 14].

أطلق على الشبكات Wi-Fi أصلاً اسم شبكات محلية لاسلكية Wireless LANs. لم تستطع تجهيزات الشبكات المحلية اللاسلكية التعامل فيما بينها قبل عام 1997، إذ إن النظم المنتجة من قبل أحد المصنّعين لم تكن تتواصل مع تلك المنتجة من قبل شركات أخرى. إلا أن معهد المهندسين الكهربائيين والإلكترونيين IEEE تبني المعيار IEEE 802.11 في عام 1997، الذي وضع حداً لعدم التوافق. وتعمل حالياً معظم تجهيزات الشبكة المحلية اللاسلكية وفق هذا المعيار، المسمى Wi-Fi. ومع أنه لا يحدد جميع الجوانب في عمل الشبكة، فإن هذا المعيار يكفل قيام أنواع مختلفة من التجهيزات بالعمل بعضها مع بعض.

يواجه مصممو الشبكات Wi-Fi أربعة مصادر أساسية للقلق: تأمين الوثوقية من خلال التأكد من عدم تعرض الخدمة إلى الانقطاع

يحب الناس النفاذ إلى الإنترنت بوساطة التقانة وأي فاي Wi-Fi، فهم يستخدمون أكثر فائز تقانة الاتصال اللاسلكي في مقاهي ستاربكس Starbucks وفي صالات المطارات والمنازل. تبدو تقانة Wi-Fi وكأنها لا تقاوم نظراً لأنها تجعل الشبكة متوافرة للمستخدمين في أي زمان ومكان. كما توفر وصلات اتصالات سريعة تسمح لرسائل البريد الإلكتروني بالظهور فوراً تقريباً، ولصفحات الويب بملء وتلوين شاشات الحواسيب بسرعة - وكل ذلك مع إمكانية التنقل بحرية مما جعل الهواتف الخلوية منتشرة في كل مكان تقريباً.

تتوقع الشركة Pyramid Research، وهي شركة أبحاث في صناعة الاتصالات أن يبلغ العدد العالمي لمستخدمي تقانة Wi-Fi نحو 271 مليون نسمة بحلول عام 2008، منهم 177 مليون نسمة في الولايات المتحدة وحدها. ويدعم المهتمون بالتقانة Wi-Fi حالياً أعمالاً عالمية مفعمة بالحياة في مجال التجهيزات، تقدر قيمتها بنحو ثلاثة بلايين دولار، وذلك حسب توقعات الشركة In-Stat التي تعمل في مجال أبحاث التسويق. إلا أن هذه الشعبية الكبيرة للتقانة لها مشكلاتها؛ إذ إن الازدياد المطرد في استخدام الشبكات Wi-Fi، قد يجعلها غير قادرة على التعامل مع حركة مرور البيانات المتنامية، مما يؤدي إلى أن تعاني أجهزة المستخدمين خدمة بطيئة وتأخيرات طويلة.

حتى عندما تعمل التقانة بشكل ملائم فإن النفاذ اللاسلكي ليس بالسرعة التي تقدمها الوصلات السلكية العالية السرعة إلى الإنترنت، مثل الخطوط الرقمية للمشاركين DSL أو وصلات موديم الكابلات. ولا تأمل الإشارات الراديوية أن ترقى إلى سرعات الإرسال التي تقدمها الأسلاك النحاسية أو كابلات الألياف الضوئية fiber-optic cables. كما أن اتصالات تقانة Wi-Fi أو أي تقانة لاسلكية تعتمد الموجات الراديوية لن تستطيع أن توفر الدرجة نفسها من الأمان، إذ إنه يمكن التقاطها بمستقبلات الراديو المجاورة. إن العديد من هذه المشكلات كان واضحاً عام 1993، عندما قاد مؤلف هذه المقالة فريقاً من جامعة كارنيكي ميلون لبناء شبكة أندرو اللاسلكية Wireless Andrew، وهي أول شبكة محلية حاسوبية لاسلكية واسعة النطاق، والتي تعد السلف للشبكات Wi-Fi الحالية. وتغطي الشبكة أندرو التي انتهى العمل فيها عام 1999، كامل المدينة الجامعية [انظر: «الشبكات اللاسلكية الأرضية»، العلوم، العدد 11 (1998)، ص 66].

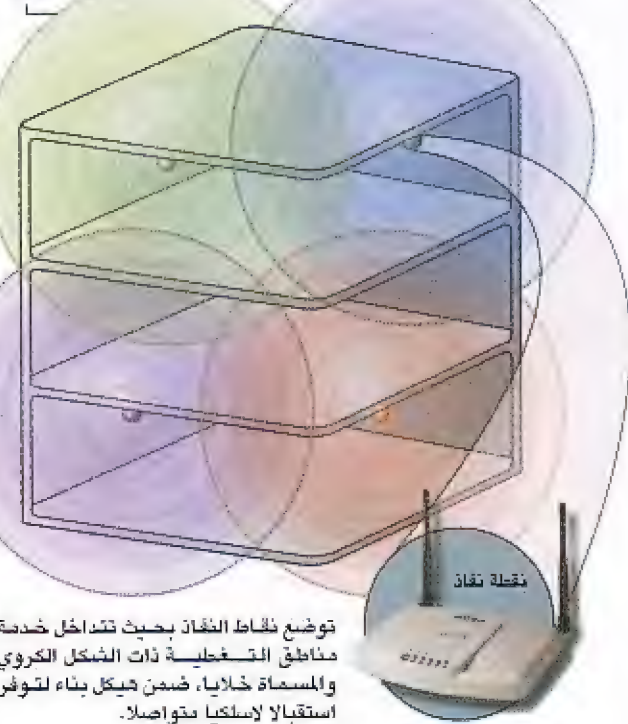


سوف يتوافر نفاذ أكثر
جودة إلى الشبكة بواسطة
التقانة Wi-Fi عندما يعطي
المهندسون الشبكات اللاسلكية أدوات
«الذكاء» الآلي الذي تحتاج إليه للتعامل
مع العدد المتزايد من مستخدمي أجهزة الهواتف
التي تحاولون النفاذ إلى الإنترنت.

■ يوهن الإرسال اللاسلكي - أي يضعف، كلما زادت المسافة، حتى في حال عدم وجود عوائق (والتي يمكن أن تسبب ضعفا إضافيا في قوة الإشارة الراديوية).
■ يمكن للموجة الراديوية أن تعاني تشويه المسارات المتعددة بانعكاسها عن جدران الأبنية والمفروشات والتجهيزات أو أي أجسام تقع بالقرب من محيطها. تسلك الإشارات عندئذ مسارات متعددة من المرسل إلى المستقبل، وذلك بسبب وجود نسخ متعددة للإرسال نفسه تصل إلى المستقبل في أوقات مختلفة قليلا عن بعضها. ويمكن للنسخ المتأخرة أن تفسد الإشارة المباشرة مسببة إشكالات لدى الجهة المستقبلة.

بسبب رداءة نوعية الاتصالات الراديوية، والمحافظة على الأداء من خلال تجنب بطء سرعات الوصلات والتأخير الطويل، وتصميم شبكات نقاط نفاذ قادرة على أن تعيّن بشكل فعال على كامل منطقة التغطية؛ وتوفير الأمان ضد مسترقي السمع اللاسلكيين أو المستخدمين غير المخولين.

إن السبب الرئيسي في كون الشبكات المحلية اللاسلكية عرضة للمشكلات السابقة هو اعتماد هذه التقانة على الاتصال الراديوي، الذي يعاني إشكالات تشغيل ذاتية [انظر الإطار في الصفحة 15]. إن إشارة مستقبلية من قبل أحد الزبائن أو من نقطة نفاذ يمكن أن تشمل بعدة طرق:



توضع نقاط النفاذ بحيث تتداخل خدمة المناطق التشغيلية ذات الشكل الكروي والمسماة خلايا، ضمن هيكل بناء لتوفر استقبالا لاسلكيا متوصلا.

مهندسين من جامعات وشركات أخرى على حل مواطن ضعفها في مجالات الوثوقية والأداء والتصميم والأمان. وقد نتج من ذلك تجهيزات الجيل الثاني من التقنية Wi-Fi (للمسماة التقنية Wi-Fi الذكية في هذه المقالة)، وهي تدمج العديد من الإمكانيات الجديدة التي تهدف إلى التغلب على المشكلات الموجودة. وتعتمد هذه التحسينات على ذكاء أكبر في نظم التقنية Wi-Fi.

تجنب الاختناق المروري للمعلومات^(*)

ستحسن التقنية Wi-Fi الذكية تجربة المستخدم مع الشبكة اللاسلكية من خلال التعامل مع قضايا مثل الاختناق المروري للمعلومات، وتغير البيئة بالنسبة إلى إشارات الراديو والأمان، وذلك بطرق متعددة.

يحتل أن يسبب الاختناق المروري في الشبكة - أي عندما يطلب إلى نقطة نفاذ (AP) أن تخدم العديد من المستخدمين مما يجعلها محملة بشكل زائد - تأخيرا وانخفاضاً في مستوى الخدمة على نحو مؤثر. وبما أن نقطة نفاذ ما والمستخدمين لها مجبرون على تقاسم قناة راديو واحدة (جزء من طيف إشارات الراديو) وأن محطة واحدة فقط (نقطة نفاذ أو مستخدم) يمكن لها أن تقوم بالإرسال بنجاح في وقت معين، فإن تشابكاً يمكن أن يحصل. تحل الشبكات Wi-Fi حالياً الصدامات بين المحطات المتنافسة ضمن الخلية باستخدام تقنية تدعى «بروتوكول النفاذ المتعدد مع تجنب التصادم بواسطة ناقل الاستشعار» CSMA/CA^(**).

■ يتجم السبب الثالث لسوء استقبال الإشارات عن التداخل وتأثيرات الضجيج. وينشأ التداخل بسبب التضارب في الإرسال الراديوي. ويعد القرن الذي يعمل بالموجات الميكروية (قرن الميكروويف) أحد المصادر الشائعة للتداخل في الشبكات Wi-Fi، إذ يمكن أن تصدر عنه إشارات راديوية متناثرة. ولحسن الحظ فإن أفران الميكروويف الحديثة معزولة بشكل جيد مما يحافظ على هذه الانبعاثات في حدودها الدنيا. أما الضجيج الراديوي فإنه يحدث في الطبيعة كما يأتي من مصادر أخرى كالآلات الكهربائية ومحركات السيارات وأضواء الفلوريسنت.

إن مهندسي الاتصالات معتمدون على التغلب على هذه الصعوبات، إلا أن طرقهم يمكن - لسوء الحظ - أن تؤخر سرعات الإرسال. فبينما توفر شبكات إيثرنت السلكية خدماتها بسرعات تراوح بين 100 و 1000 ميكايت في الثانية (Mbps)، فإن العديد من الشبكات المحلية اللاسلكية توظف المعيار IEEE 802.11 b، وبذلك فهي تعمل عند معدلات تصل إلى 11 ميكايت في الثانية. ويمكن للتجهيزات الأحدث التي تعمل وفق المعيارين IEEE 802.11a و 802.11g أن تصل سرعاتها إلى 54 ميكايت في الثانية، وهي بعد بطيئة مقارنة بعمل الأيثرنت. إلا أنه سيتم قريباً تقديم نسخة من المعيار IEEE 802.11 تسمح بالاتصال بسرعات تصل إلى 108 ميكايت في الثانية.

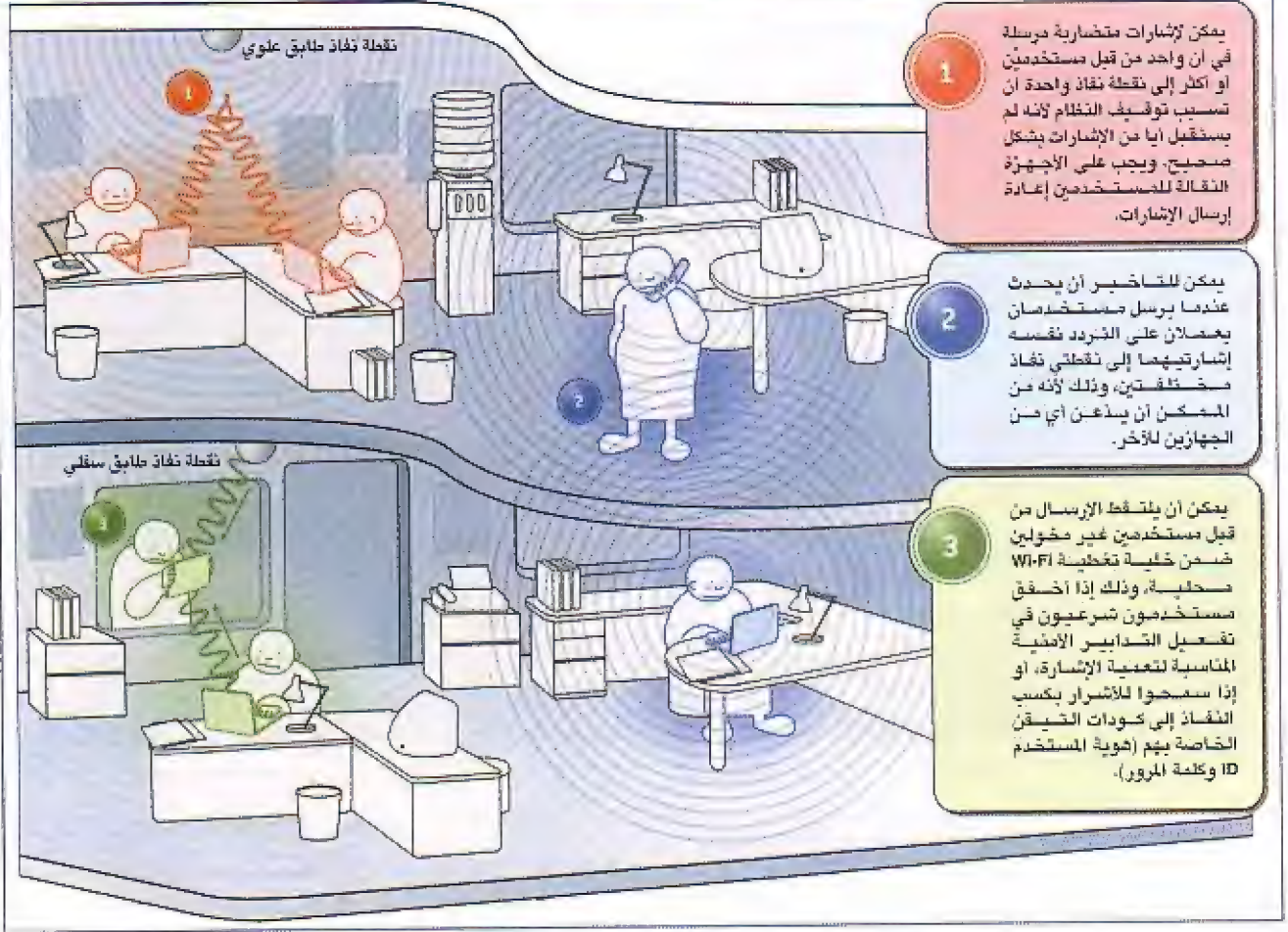
تبالغ هذه الأرقام في الحقيقة في معدلات سرعات الشبكات Wi-Fi التي تهبط ألياً من السرعة القصوى (11 أو 54 ميكايت) إلى معدل أدنى وذلك كي تتماشى مع ظروف توهين إشارات الراديو، وتعدد المسارات والتداخل والضجيج. لذلك فإن وصلة تتوافق مع المعيار IEEE 802.11b يمكن أن تنخفض سرعة نقلها من معدل نقل 11 ميكايت في الثانية إلى 5.5 أو 2 أو حتى إلى 1 ميكايت في الثانية. إضافة إلى ذلك، فإن البتات الإضافية overhead - أي البتات الرقمية التي تضاف إلى كل إرسال للتحكم في تشغيل الشبكة ولتخفيض الأخطاء - تقلص معدل النقل الفعلي بدرجة أكبر.

ومنذ إدخال التقنية Wi-Fi في جامعة كارنيكي ميلون وكذلك في الشركة إيرسبيس Airespace (وهي حالياً جزء من الشركة سيسكو سيستمز Cisco Systems) عمل مؤلف المقالة وزملاؤه إضافة إلى

نظرة إجمالية/ الشبكات المحلية اللاسلكية^(*)

- فيما تتنامى شعبية التقنية Wi-Fi - النفاذ اللاسلكي للإنترنت - فإن حركة مرور البيانات المتزايدة تهدد بإغراق الشبكات المحلية المعتمدة على الراديو (LANs) التي يستخدمها الناس للوصل مع الشبكة، مسببة تأخيرات غير مقبولة وفوضى في الخدمة. إن مجموعة من التحسينات التي تشمل الجيل الثاني أو التقنية Wi-Fi الذكية ستذهب بعيداً باتجاه حل هذه المشكلات.
- يقلق مصممو الشبكات Wi-Fi من أربع قضايا: تجنب الإرسال الراديوي الضعيف النوعية، ومنع السرعات البطيئة للوصلات والتأخيرات الطويلة، وتوفير التغطية لمناطق المستخدمين، وتوفير درجة أمان كافية. سوف تحقق التقنية Wi-Fi الذكية التي بدأت بالتشغيل جميع المهام السابقة وأكثر.

محّن الشبكات اللاسلكية



1 يمكن لإشارات متضاربة مرسله في أن واحد من قبل مستخدمين أو أكثر إلى نقطة نفاذ واحدة أن تسبب توقيف النظام لأنه لم يستقبل أيًا من الإشارات بشكل صحيح. ويجب على الأجهزة النقلة للمستخدمين إعادة إرسال الإشارات.

2 يمكن للتأخير أن يحدث عندما يرسل مستخدمان يعملان على التردد نفسه إشارتهما إلى نقطتي نفاذ مختلفتين، وذلك لأنه من الممكن أن يضاعف أي من الجهازين للأخر.

3 يمكن أن يلتقط الإرسال من قبل مستخدمين غير مخطوبين ضمن خلية تغطية Wi-Fi محلية، وذلك إذا أخفق مستخدمون شرعيون في تفعيل التدابير الأمنية المناسبة لتعمية الإشارة، أو إذا سمحوا للأشعار بكسب النفاذ إلى كودات التيقن الخاصة بهم (هوية المستخدم ID وكلمة المرور).

تغير المحيط بالنسبة إلى إشارات الراديو^(*)

يمكن للصعوبات المتعلقة بإشارات الراديو والمشار إليها سابقا كـ *attenuation* وتعدد المسارات *multipath* والتداخل *interference* والضجيج *noise*، أن تخفّف بشكل جوهري من خلال تصميم جيد للشبكة. ويجب أن يقرر مصمم الشبكة Wi-Fi أين توضع نقاط النفاذ (AP) ضمن فضاء المنطقة المستهدفة ليؤمن التغطية والأداء الملائمين. كما يترتب على المهندسين اختيار القنوات التي يجب تخصيصها لنقاط النفاذ. ويحتاج المصمم إلى مراعاة خصائص المحيط بالنسبة إلى إشارات الراديو وهندسة المبنى الذي سيتم فيه تركيب الشبكة المحلية اللاسلكية، والتي هي في الحقيقة شبكة راديوية ثلاثية الأبعاد.

يهدف مصمم الشبكة إلى تجنب الشغرات في التغطية عند انتقاء مواقع نقاط النفاذ، إلا أنه في الوقت نفسه يجب أن يباعد بين نقاط النفاذ أكثر ما يمكن لتخفيض كلفة التجهيزات والتركيب. والسبب الآخر الذي يدعو إلى فصل نقاط النفاذ عن بعضها هو تداخل التغطية بين النقاط التي تعمل على القناة الراديوية نفسها (المعروف باسم التراكب بين القنوات) مما يخفض جودة الأداء. ويجري في الجزء الثاني من

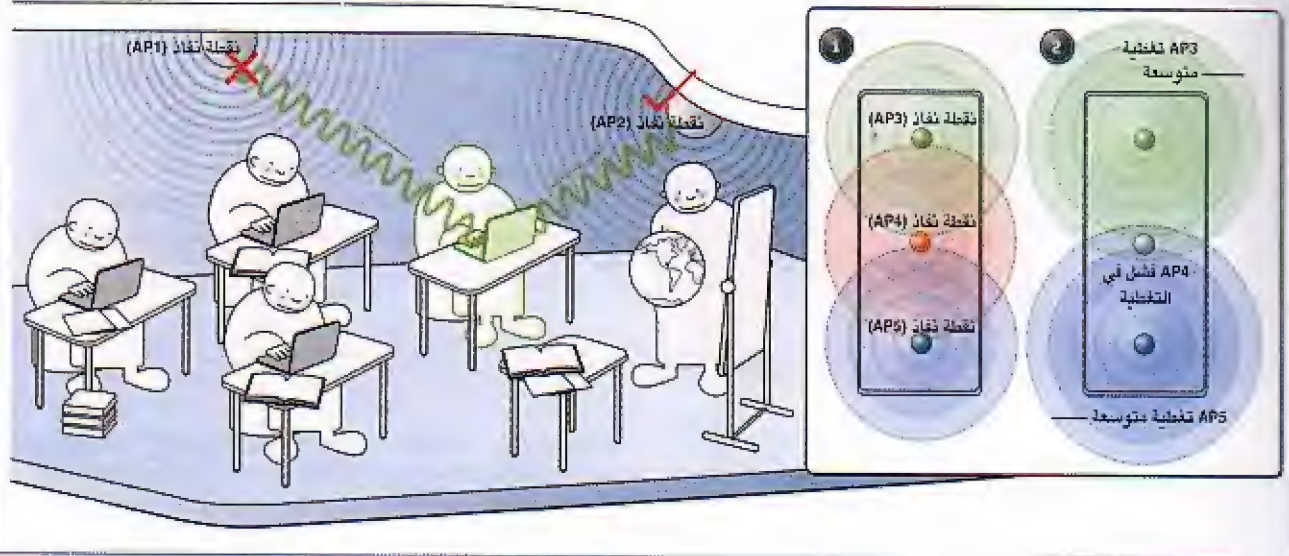
الشبكات Wi-Fi الذكية أن تخفف من الازدحام بتوزيع الزبائن على نقاط النفاذ بشكل منتظم تقريبا وبحيث لا تُغرق أيًا منها، مما يحقق انسيابية في الأداء بشكل كبير.

يطبق على وصلة بين مستخدم ونقطة نفاذ اسم الارتباط *association*. تستهل هذه العملية عندما يبدأ مستخدم ما طلب ارتباط. وعندما تتسلم نقطة نفاذ طلب ارتباط فإنها تستطيع أن تقبل هذا الطلب أو ترفضه. وعلى الرغم من أن المعيار IEEE 802.11 لا يخصص منهاجا برمجيا لاتخاذ مثل هذا القرار، فإن الجيل الثاني لنقاط النفاذ (أو مفتاح التحويل الذكي الذي يتحكم فيها) يدرس الحبل الأني للنقطة قيد الاعتبار وتلك الاحمال الخاصة بنقاط النفاذ المجاورة، مما يساعد على اتخاذ القرار. ربما لا تكون نقطة نفاذ محملة بشكل كبير هي الأنسب للارتباط بمستخدم جديد. إذا تم تسلم طلب كهذا وكان النظام يعلم أن إحدى نقاط النفاذ غير محملة بشكل كبير وتقع في المجال الراديوي للمستخدم صاحب الطلب، فإن نقطة النفاذ قد ترفض طلب الارتباط مؤدية بالتالي إلى تحسين الأداء الكلي للشبكة [انظر الإطار في الصفحة المقابلة]. إن موازنة الاحمال، إضافة إلى تقنيات أخرى، سوف تسمح للشبكات Wi-Fi المستقبلية بتقديم أداء جيد حتى في الأمكنة ذات الكثافة العالية.

مواثبات ذكية لشبكات Wi-Fi

يمكن للشبكة Wi-Fi الذكية أن تخفف من الازدحام وذلك بتوزيع وصلات المستخدمين بشكل ميسر بين نقاط نفاذ Wi-Fi المتاحة. قد تفعل ميزة موازنة الأحمال هذه [أسفل، في اليسار] عندما يحاول مستخدم الوصول مع نقطة نفاذ محملة بشكل كبير. مثل AP1. إذا تبين للنظام أن نقطة النفاذ الثانية محملة بشكل خفيف وتقع ضمن المجال الراديوي للمستخدم، فإن النظام سيقترح النفاذ إلى نقطة النفاذ الأولى ويوصل المستخدم مع نقطة النفاذ الثانية، مما

يحسن أداء التشغيل العام للشبكة. عندما تتغير الظروف بالنسبة إلى إشارات الراديو، فإن النظام Wi-Fi الذكي يمكن أن يعدل من حجم خلاياه بهدف التعويض. في هذا المثال، [أسفل، في اليمين]، توفر نقاط النفاذ 3، 4، 5 خدمة إلى فضاء داخلي (1). وعندما تفشل نقطة النفاذ AP4 (في الوسط) بشكل غير متوقع، فإنها تحدث ثغرة في التغطية اللاسلكية. وتوسع الخليتان المجاورتان AP3، AP4 لتوفير التغطية فوق الثغرة (2).



عندما يستخدم العديد من الحواسيب نقطة نفاذ تحدث التصادمات ويواجه جميع المستخدمين تأخيرات عدة.

تكن مثالية. يضاف إلى ذلك، أن نقاط النفاذ تصاب بأعطال من وقت إلى آخر، ولكن وفقا للمواقع الخاصة لنقاط النفاذ ولأنواع الهواتف المستخدمة، يمكن للتحكم الآلي في حجم الخلايا أن يغطي بصورة مؤقتة الثغرات التي تسببها أعطال نقاط النفاذ. [انظر الإطار في هذه الصفحة].

المهمة الديناميكية للقناة

يمكن أيضا لنقاط النفاذ أن تستخدم المهمة الديناميكية للقناة في الشبكات Wi-Fi الذكية لتغيير تردد قنوات الراديو آليا. يقوم المصممون عادة بتحديد مهام القنوات بحيث يكون التشابك بينها في حدوده الدنيا، وذلك استنادا إلى بيئة انتشار الموجات الراديوية، وتكون هذه القنوات بعد تحديد مهامها ساكنة في الظروف العادية، إلا أن البيئة يمكن أن تتغير ولذلك فإنه لا يوجد ضمان بأن هذه المهام المحددة ستبقى صالحة.

تتحسس الشبكات Wi-Fi من الجيل الثاني البيئة الراديوية

عملية التصميم عادة تخفيض التراكب بين القنوات إلى حدوده الدنيا مما يقلل التأثير بين المحطات في خلايا قنوات متجاورة مختلفة. وثمة ميزة جديدة للتقانة Wi-Fi الذكية، هي التحكم الآلي في حجم الخلية automatic cell-size control، تسمح للخلايا بالتوسع أو الانكماش كي تتوافق مع تغير شروط إشارات الراديو. كما يمكن لهذه التقانة أن تعوض أي نقص في التصميم أو توقّف في نقاط النفاذ. حتى في أكثر الشبكات دقة في التشكيل فإنه من الممكن للمحيط بالنسبة إلى إشارات الراديو أن يتغير من وقت إلى آخر. وهكذا، فإن الظروف الأساسية يمكن أن لا توجد، وعلى سبيل المثال، فعندما تُنقل بعض التجهيزات المعدنية في مصنع ما فإن تغيرا في الحالة الكهرمغناطيسية يمكن أن يقود إلى ثغرات في التغطية. وفي هذه الحالة، من المناسب توسيع أو تقليص أحجام الخلايا للقيام بالتعويض. ويمكن تعديل أحجام الخلايا من خلال تكييف قدرة الإرسال لنقاط نفاذ Wi-Fi. فإذا كانت التغييرات تعكس بدقة المحيط الراديوي الجديد فإن التغطية المستمرة للشبكة يمكن أن يُحافظ عليها في كل مكان من المساحة المستهدفة دون وجود تراكب بين الخلايا. (تستطيع نقاط النفاذ حاليا أن تعدّل فقط في مستويات قدرة الإرسال الخاصة بها، لكننا بانتظار إضافات إلى معيار IEEE 802.11 يُسمح بموجبها لنقاط النفاذ أن ترشد استخدامها لزيادة أو إنقاص قدرة إرسالها أيضا).

تتوافر في التحكم الآلي لحجم الخلايا إمكانية تخفيض الجهد المطلوب في تصميم الشبكات المحلية اللاسلكية. وتتيح هذه الميزة إمكانية تصميم سريع لوضع نقاط النفاذ في مواقع معقولة وإن لم



التقانة Wi-Fi مقابل التقانة WiMAX

ربما يكون العديد من القراء قد سمعوا بتقانة نفاذ لاسلكي جديدة تدعى WiMAX. فما هي هذه التقانة وما صلتها بالتقانة Wi-Fi؟
بينما تُستخدم التقانة Wi-Fi من قبل التجهيزات النقالة على نطاق واسع، فإن التقانة WiMAX توجّهت أساساً لوصلات الإنترنت الثابتة. إن مصطلح WiMAX هو من ابتكار مجموعة صناعية تسمى منتدى WiMAX.
وكما أن التقانة Wi-Fi تقوم على المعيار IEEE 802.11، فإن التقانة WiMAX تنسب إلى المعيار IEEE 802.16، الذي جرى تبنيه عام 2004 لتعريف خدمة لاسلكية عالية السرعة إلى مواقع ثابتة عبر مسافات تصل إلى 50 كيلومتراً، في حين يبلغ المدى الأقصى للتقانة Wi-Fi بضعة مئات من الأمتار. وأحد أسباب المدى الأكبر لنطاق التقانة WiMAX هو أنها تستطيع الإرسال بمستويات استطاعة أعلى وفقاً للحزمة الراديوية radio band. سوف تكون التقانة WiMAX قادرة على العمل عند معدل نقل 75 مليون بت في الثانية، أي أسرع عدة مرات من خط رقمي مشترك (Digital Subscriber Line - DSL). إلا أن هذه المقدرة ستتوزع كالمعاد بين العديد من المستخدمين.
جرى التفكير في التقانة WiMAX لتوفر النوع نفسه من خدمة الإنترنت السريعة الممنوحة من قبل الخط DSL، وموديم الكابل وحتى نظم الكيف البصرية. ولهذا السبب فإنها سميت أيضاً شبكة مدينية لاسلكية Wireless MAN [وتعني MAN «شبكة منطقة المدينة»].

على الرغم من أصول هذه التقانة، بدأ جمهور التقانة WiMAX في الآونة الأخيرة العمل على نسخة نقالة من المعيار IEEE 802.16o المعروفة باسم mobile WiMAX. تهدف هذه التقانة، على غرار Wi-Fi، إلى تقديم الخدمة إلى الحواسيب الحضرية والأجهزة النقالة الأخرى، إلا أنها سوف تحظى بمدى أعظم، من المحتمل أن يصل إلى بضعة كيلومترات.
حالياً، ثمة اهتمام كبير في الصناعة الحاسوبية بالنقالة WiMAX، إلا أنه لم يجر بعد تبني هذا المعيار. إضافة إلى ذلك، لم يتم التيقن بعد من قدرة هذه التقانة على كسب موطن قدم في السوق. وقد ثبت في النهاية أن التقانة WiMAX لن تتنافس مباشرة مع التقانة Wi-Fi. وبسبب استطاعتها الأكبر ومداهما الأبعد، فإنها من المحتمل أن تتنافس مع خدمة الجيل الثالث (3G) للهواتف الخلوية في تقديم خدمة إنترنت نقالة، أولاً في مناطق حضرية ولحقاً في أقاليم أوسع. ويعمل الجيل الثالث بشكل مشابه للتقانة WiMAX عند مستويات استطاعة أعلى من التقانة Wi-Fi. كما تغطي

محطاتها القاعدية مناطق أوسع من التقانة Wi-Fi.
من المحتمل في نهاية الأمر أن تتعايش الأنظمة الثلاثة: Wi-Fi و WiMAX والجيل الثالث معاً، بحيث يغطي كل منها الموضوع اللائق الذي يختص به. ونظراً لأن التقانة WiMAX والجيل الثالث يعملان عند مستويات استطاعة أعلى ويوظفان منهج نفاذ مختلفاً عن التقانة Wi-Fi، فإنهما لن يتعرضا إلى المشكلات نفسها ولن يحتاجا إلى الحلول نفسها التي جرى توصيفها في هذه المقالة.
سوف تجهز الحواسيب الحضرية والمساعدات الرقمية الشخصية (PDA) بشكل متزايد في المستقبل للعمل مع شبكات لاسلكية متعددة. إن حاسوباً حضنياً يمكن أن يوصل بالنظام Wi-Fi في محيط المنزل والمكتب، لكنه يستخدم النظام WiMAX أو الجيل الثالث من الهواتف الخلوية في أماكن أخرى. وهكذا، فإن تطبيقات مثل Wi-Fi/WiMAX أو Wi-Fi/3G يمكن أن تصبح شيئا مألوفاً في وقت ما، مع إمكانية وصل حواسيب مجهزة بالنظم السابقة بالشبكات الثلاث.

بدأ المستخدمون يلاحظون أن الشبكات Wi-Fi أخذت تتصرف كمثيلاتها السلكية.

خلال فواصل زمنية ومن ثم تقوم ديناميكياً بإعادة تحديد مهام القنوات وفقاً لذلك. تزيل هذه الإمكانية الحاجة إلى إجراء تحديد مهام القنوات خلال عملية التصميم الأساسية. فإذا أزيل الأثاث من حيز مكتب ما على سبيل المثال، فإن ذلك قد يتسبب بتوسيع منطقة التغطية، وإذا نجم عن هذا التوسع تضارب مع تغطية خلوية أخرى تعمل على القناة نفسها، فإن الأداء يمكن أن ينخفض بشكل حاد. وقد يكون من المناسب في هذه الحالة تحويل الخلية الثانية إلى قناة أخرى. وتؤمن خوارزميات تبديل القنوات تخفيضاً تداخلاً التغطية بين القنوات إلى حدوده الدنيا في كامل الشبكة.

تفعل النظم Wi-Fi الذكية عادة خوارزمية تبديل القنوات بصورة دورية لضمان كون تخصيص القنوات يعكس وضع البيئة الراديوية

الحالية. وتستطيع تقنية المهمة الديناميكية للقناة أن تحسن أيضاً من الأداء بالسماح لنقاط النفاذ بأن تختار قنوات لا تعاني الضجيج المحلي أو التداخل.

الأمن اللاسلكي

قد يكون الأمن هو مشكلة التقانة Wi-Fi الأكثر عرضة للنقاش. فالمستخدمون لا يرغبون في أن يراقب الغرباء تبادلهم للبيانات الإلكتروني أو أن يحصل هؤلاء على نفاذ غير مسموح به إلى نظمهم [انظر الإطار في الصفحة 16]. وقد قدم المعيار الأساسي IEEE 802.11 ميزة تدعى الخصوصية WEP⁽¹⁾ للحصول على إرسال معتمى encryption. والتنمية هي طريقة في تحويل دفق من البتات إلى دفق آخر (معتمى) بحيث يمكن استعادة الدفق الأساسي من البتات باستخدام مفتاح، وهو التشفير الخاص الذي استخدم أساساً من أجل التأكيد: إلا أن العديد من

مصنعو تجهيزات التقنية Wi-Fi الذكية

اسم الشركة	مكانها	موقعها على الويب
Aruba Networks	Sunnyvale, Calif.	www.arubanetworks.com
Cisco Systems/ Airespace*	San Jose, Calif.	www.airespace.com
Cisco Systems/ Aironet*	San Jose, Calif.	www.cisco.com
Colubris Networks	Waltham, Mass.	www.colubris.com
Extreme Networks	Santa Clara, Calif.	www.extremenetworks.com
Symbol Technologies	Holtsville, N.Y.	www.symbol.com
Trapeze Networks	Pleasanton, Calif.	www.trapezenetworks.com

* قامت الشركة سيمكو سيمتيز حديثا Airespace، وهي شركة Wi-Fi ذكية. إن منتج سيمكو المتوافر حاليا يسمى Aironet، يجمع مميزات التقنية Wi-Fi الذكية.

ضمن أو بالقرب من منطقة تغطية شبكة لاسلكية. (يمكن للدخلاء السلكيين أن يهاجموا عن بُعد). وهذا ما أدى إلى أن تستخدم بعض تجهيزات التقنية Wi-Fi تقنية تحديد الموقع لكشف وجود محطة معادية. وباستخدام هذه الميزة يمكن للشبكة أن تتعقب المحطة المسيئة وأن تزيلها.

بدأت الشبكات اللاسلكية تتصرف بشكل مشابه لمثيلاتها السلكية مع تطور التقنيات Wi-Fi الذكية، كما بدأ مستخدمو اللاسلكي بملاحظة الفرق. إلا أنه يبقى الكثير مما يجب عمله في هذا السياق، كما تتواصل الأبحاث التي ستأخذ التقنية Wi-Fi بعيدا. ويجري العمل حاليا، على سبيل المثال، لإيجاد أداة متنقلة أليا ضمن الشبكة Wi-Fi. ستسمح هذه الميزة لمشغلي الشبكة باكتشاف سريع لموقع أناس (مثل الأطباء في مستشفى ما) أو أغراض (منتجات تتحرك ضمن خط تجميع في مصنع ما) كلما تطلب الأمر ذلك.

تتطور التقنية Wi-Fi وتقنيات الاتصالات اللاسلكية الأخرى بشكل مطرد. وفي الولايات المتحدة ومناطق أخرى، يزداد باستمرار عدد الأشخاص الذين يتخلون عن خدمة الهاتف الأرضي، مفضلين الهواتف الخلوية اللاسلكية. وتنشئ الحكومات البلدية، مثل بلدية مدينة فيلادلفيا، مناطق تغطية بالشبكات Wi-Fi تشمل المدن بأسرها. وفي الوقت نفسه، فإن استخدام الجيل الثالث من الهواتف الخلوية، في ازدياد واضح، وقد يكون لتقانة جديدة تسمى WiMAX [انظر الإطار في الصفحة المقابلة] وجود قوي في السوق، إذ إننا نعيش في عالم لاسلكي بصورة مطردة.

Smart Wi-Fi Equipment Makers (١)

المؤلف

Alex Hills

هو أستاذ الهندسة والسياسة العامة وهندسة الكمبيوتر - والحواسيب في جامعة كارنيجي ميلون. وقد عمل أيضا نائبا للرئيس ومديرا عاما للمعلومات فيها. تركز جهوده في البحث والتدريس على تقنية اللاسلكي وسياسة الاتصالات. طور هيلز شبكة أندرو اللاسلكية، وهي شبكة محلية لاسلكية مبكرة، واخترع Rollabout، وهي أداة لاسلكية صممها وسوقها الشركة Helium Networks.

مراجع للاستزادة

- Wireless Andrew.** Alex Hills in *IEEE Spectrum*, Vol. 36, No. 6, pages 49-53; June 1999.
- Large-Scale Wireless LAN Design.** Alex Hills in *IEEE Communications*, Vol. 39, No. 11, pages 98-107; November 2001.
- Real 802.11 Security: Wi-Fi Protected Access and 802.11i.** John Edney and William Arbaugh. Addison-Wesley Professional, 2003.
- Rollabout: A Wireless Design Tool.** Alex Hills and Jon Schlegel in *IEEE Communications*, Vol. 42, No. 2, pages 132-138; February 2004.
- Radio Resource Management in Wireless LANs.** Alex Hills and Bob Friday in *IEEE Communications*, Vol. 42, No. 12, pages S9-S14; December 2004.
- Wireless Networks First-Step.** Jim Geier. Cisco Press, 2004.
- The IEEE 802.11 Handbook: A Designer's Companion.** Second edition. Bob O'Hara and Al Petrick. IEEE Press, 2005.
- 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide.** Second edition. Matthew Gast. O'Reilly, 2005.

Scientific American, October 2005

مستخدمي اللاسلكي لا يكفون أنفسهم عناء تفعيل ميزة التعمية ومن ثم فإنهم ينفذون إرسالاتهم «بوضوح» مما يسمح باختراق أسهل.

حتى عند استخدام الخصوصية WEP، وجد أناس أذكيا، ينشدون التحدي والبرهنة على قابلية الشبكات اللاسلكية للاختراق، طرقا لاكتشاف المفاتيح ومن ثم كشف الرسائل. في عام 2001، أصبح من المعلوم على نطاق واسع أن الخصوصية WEP لها بعض العيوب، ومنذ ذلك الوقت عمل المطورون على تدعيم أمن الشبكات Wi-Fi.

والسماح بالنفاذ هو أيضا قضية مهمة في الشبكات Wi-Fi، حيث يمكن للمستخدمين التعريف بأنفسهم من خلال عملية تيقن تتضمن هوية المستخدم user ID وكلمة مروره. ولكن إذا كان بمقدور أناس مؤذنين استراق النظر بسهولة على رسائل الآخرين فإنه من الممكن لهم التطفل على هوية المستخدم وكلمة المرور ومن ثم التمكن من النفاذ إلى الشبكة.

في عامي 2003 و 2004 أنهت مجموعتا العمل الخاصتان بالمعيار IEEE 802.11 وتحالف Wi-Fi Alliance (وهي المجموعة الصناعية التي صكت المصطلح Wi-Fi)، العمل على معاييرهما ذات العلاقة: IEEE 802.11i، النفاذ المحمي في الشبكات Wi-Fi Protected Access (WPA)، والتي وضعت بموجبها تدابير أمنية أكثر صرامة، تتضمن تقنيات تعمية محسنة وطرقا أكثر أمنا في جوهرها لنقاط النفاذ وللمستخدمين ليصلوا إلى المفاتيح اللازمة للتعمية وكشف التعمية.

يوفر النفاذ WPA (الذي يستخدم معيارا آخر هو IEEE 802.1X) عملية استيقان أكثر قوة بكثير مما كان متوافرا من قبل. وتحسن هذه المجموعة من المعايير وبشكل كبير الأمن الكلي للشبكات Wi-Fi الذكية.

وقد أضاف بعض مصنعي تجهيزات التقنية Wi-Fi تدابير أمنية أخرى أيضا، منها - وعلى سبيل المثال - كشف الدخلاء intrusion detection. وتختلف الشبكات اللاسلكية عن السلكية في أن أدوات استراق السمع (وحتى نقاط النفاذ) يمكن أن توجد في أي مكان

البيولوجيا العصبية للذات^(*)

لقد بدأ البيولوجيون بتحليل الكيفية التي يحدث بها الدماغ حساً ثابتاً في ذات صاحبه.

<C. ريمر>

الذات شيء خاص^(**)

استهمل عالم النفس الأمريكي «وليام جيمس» الدراسة الحديثة في هذا الميدان في عام 1890، وذلك في كتابه الفيلسوف بعنوان *مبادئ علم النفس* *The Principles of Psychology*. وقد اقترح قائلاً: «دعونا نبدأ بـ «الذات» في أرحب معاني قبولها، ثم نتابعها حتى أدق صيغها وأرفعها». لقد جادل «جيمس» بأن الذات، على الرغم من استشعار كونها شيئاً متوحداً، لها عدة وجوه تتحد من وعي المرء، بجسمه الخاص إلى ذكرياته عن ذاته إلى إحساسه بالتوافق مع مجتمعه. بيد أن «جيمس» اعترف بأنه احتار فيما يخص الكيفية التي يولد فيها الدماغ هذه الأفكار المتعلقة بالذات ويحولها إلى «أنا» ego واحدة.

ومنذ ذلك الحين، وجد العلماء بعض الدالات المعبرة من خلال تجارب نفسية psychological، فعلى سبيل المثال، وجه باحثون مهتمون بذاكرات الذات إلى بعض المتطوعين أسئلة تخص ذواتهم وكذلك أسئلة تخص أناساً آخرين، وفي مرحلة لاحقة أخضع الباحثون أولئك المتطوعين لامتحان خاطف كي يروا درجة تذكرهم الأسئلة. لقد نجح هؤلاء على الدوام في تذكر الأسئلة التي تتعلق بذواتهم أكثر من نجاحهم في تذكر الأسئلة التي تتعلق بالآخرين، ويقول «هيزرتون»: «حينما ندمع الأشياء بأنها ذات صلة بالذات فإننا نتذكرها بشكل أفضل».

لقد تغيرت الأمور، فالיום يخوض «هيزرتون» هذه المسألة بشكل مباشر، جنباً إلى جنب مع عدد متنام من العلماء، ساعين إلى استنتاج كيفية انبثاق الذات من الدماغ، ففي السنوات القليلة الماضية ابتدؤوا يحددون فعاليات دماغية معينة يمكن أن تكون أساسية لتعيين نواحٍ مختلفة من استشعار الذات self-awareness. وهم يحاولون الآن تعيين الكيفية التي تسبب بها هذه الفعاليات الشعور الموحد الذي يملكه كل منا حول كونه كيانا واحداً. وما هو هذا البحث يعطي اليوم دالات clues حول الكيفية التي يمكن أن تكون الذات قد تطورت فيها لدى أسلافنا من فصيلة الإنسان (البشريات) hominid. ويمكن أن يفيد هذا البحث العلماء حتى في معالجة مرض الزايمر واضطرابات أخرى تفسد إدراك الذات، وفي بعض الحالات تخريبه تماماً.

إن أوضح شيء عن نفسك هو ذاتك your self. ويقول <T. هيزرتون> [وهو عالم نفس في جامعة دارتموث]: «إنك تنظر إلى جسمك فتعرف أنه يخصك أنت»، ويتابع قائلاً: «تعرف أنها يدك التي تتحكم فيها حينما تبسطها. وعندما تكون لديك ذكريات فإنك تعرف أنها تخصك ولا تخص أحداً آخر. وعندما تستيقظ في الصباح لا يكون عليك أن تستجوب نفسك طويلاً عما تكون أنت».

قد تكون الذات واضحة، بيد أنها لغز كذلك. و«هيزرتون» نفسه نقر من دراستها سنوات عديدة، مع أنه كان يستكشف موضوعي ضبط النفس وتقدير الذات وغيرهما من قضايا ذات الصلة، منذ كان طالباً في الدراسات العليا. ويشرح قائلاً: «لقد انصبت اهتماماتي جميعها على الذات ولكن ليس على الموضوع الفلسفي لماهية الذات. وقد تحاشيت التأملات حول ما تعنيه الذات، أو لعلي حاولت ذلك».

نظرة إجمالية/ دماغي وأنا^(***)

- تستكشف أعداد متزايدة من المختصين بالبيولوجيا العصبية كيف يتدبر الدماغ تشكيل حس بالذات وصون ذلك الحس.
- تم العثور على بضع مناطق دماغية تستجيب للمعلومات المتعلقة بذات المرء على نحو يختلف عن استجاباتها لذوات الآخرين، حتى من كان من هؤلاء الآخرين مالوفاً جداً. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تكون مثل هذه المناطق أكثر نشاطاً حينما يفكر الناس في صفاتهم المميزة أكثر من تفكيرهم في خصائص الأفراد الآخرين. وقد تكون هذه المناطق جزءاً من شبكة للذات self-network.
- بالنسبة إلى البعض، هدف هذا البحث هو التوصل إلى فهم أفضل للخرف وإيجاد معالجات جديدة له.

رؤية شخص يلمسه آخر أدت بها إلى الشعور وكأن شخصا يلمسها في الموضع نفسه من جسمها. لقد ظنت أن كل إنسان لديه تلك الخبرة الإحساسية.



أذية دماغية جراء نوبة قلبية وفقدان قدرته على تذكر أي شيء كان قد فعله أو خبره قبل الأذية. لقد اختبر «كلاين» إدراك «B.D.» لذاته عن طريق إعطائه قائمة من ستين سجية وسأله إن كانت تنطبق عليه نوعا ما، أو تنطبق عليه بدرجة جيدة، أو تنطبق عليه على نحو مؤكد، أو أنها لا تنطبق عليه على الإطلاق. ومن ثم عرض «كلاين» الاستبانة ذاتها على ابنة «B.D.» وطلب إليها أن تصف والدها فيما يتعلق بتلك السجيا. فجاءت اختياراتها مترابطة إلى حد كبير باختيارات والدها. وهكذا يكون «B.D.» قد احتفظ بإدراك ذاته بدون الحاجة إلى ذاكرات عن يكون هو.

دالات من الأدمغة السليمة^(١)

وفي السنوات الأخيرة انتقل العلماء إلى ما هو أبعد من الأدمغة المصابة بأذيات وتناولوا الأدمغة السليمة، وذلك بفضل ما أحرزه التصوير الدماغي من تقدم. ففي الكلية الجامعية بجامعة لندن قام الباحثون بإجراء مسح دماغي brain scans لحل لغز كيفية شعورنا بذواتنا. وفي هذا الصدد تقول «J.S.» بلاكهور «من UCL»: «هذه هي النقطة الأولى الأساسية جدا في الذات على المستوى القاعدي».

حينما تصدر أدمغتنا أمرا بتحريك جزء من أجسامنا، يجري إرسال إشارتين، تذهب إحدهما إلى المناطق الدماغية التي تتحكم في الأجزاء المهيئة من الجسم التي يجب تحريكها، في حين تذهب الأخرى إلى المناطق الدماغية التي ترصد الحركات. وتستدرك «بلاكهور» قائلة: «إنني اعتبرها (نسخة مبلغة إلى...)» واردة في ذيل بريد إلكتروني: إنها المعلومة نفسها مرسلة إلى مكان آخر..»

لقد جادل بعض علماء النفس بأن هذه النتائج تعني ببساطة أننا أكثر ألفة لذواتنا من ألفة الآخرين لنا. واستنتج البعض بدلا من ذلك أن الذات self هي شيء خاص، يستخدم فيه الدماغ منظومة مختلفة أكثر تعاطية في معالجة المعلومات بخصوص الذات. بيد أن الاختبارات النفسية لم ترجع قائما من هذه التفسيرات المتنافسة بسبب كون الفرضيات، في حالات عديدة، قد قدمت النبوءات نفسها بخصوص النتائج التجريبية. هذا وقد ظهرت دالات إضافية من أذيات تؤثر في بعض مناطق دماغية تضطلع بسيروية الذات. ولعل الحالة الأكثر شهرة في هذا الصدد هي حالة «P.H.» كيج الذي كان رئيس عمال في بناء سكة الحديد في القرن التاسع عشر. كان يقف في المكان الخاطئ حين نسفت قذيفة من الديناميت شظايا حديد عبر الهواء فاخترقت شظية رأس «كيج» الذي ظل على قيد الحياة رغم ذلك.

لكن أصدقاء «كيج» لاحظوا تغيرا في سلوكه. فقبل الحادث كان «كيج» عاملا كغف ورجل أعمال قطنا. وبعد الحادث أصبح لا يعرف حرمة ولا يحترم الآخرين وتلقا يخطط لمستقبله، حتى قال فيه هؤلاء إنه «لم يعد هو «كيج»».

وثمة حالات مثل حالة «كيج» بينت أن الذات شيء آخر غير الوعي. فالتناس يمكن أن يكون لديهم حس معطل بذواتهم من دون أن يكونوا فاقدين للوعي. وقد كشفت أذيات الدماغ كذلك أن الذات مبنية بطريقة معقدة. وعلى سبيل المثال، قدم «S.» كلاين «من جامعة كاليفورنيا في سانتا باربرا» زملاؤه في عام 2002 تقريراً عن حالة فقدان ذاكرة لشخص دُعي باسم «B.D.»، وكان يبلغ من العمر 75 عاما حين عانى

ومن ثم تستخدم أدمغتنا هذه النسخة للتنبؤ بنوع الإحساس الذي سيولده هذا الفعل. فومضة العين تجعل الأشياء تظهر متحركة عبر حقل رؤيانا، ويجعلنا التكلم نسمع صوتنا، كما أن الوصول إلى قبضة الباب يجعلنا نشعر باللمسة الباردة لنحاس القبضة. فإذا لم يضاه الإحساس الفعلي الذي نستقبله نبوءتنا تماما، فإن أدمغتنا ستعرف الفرق. ويمكن لعدم المضاماة هذا أن يجعلنا نبذل المزيد من الانتباه أو يستحثنا على تعديل أفعالنا وصولا إلى النتائج التي نريدها.

أما إذا لم يضاه الإحساس نبوءتنا على الإطلاق، فإن أدمغتنا تنسبها لشيء آخر غير ذواتنا. وقد وثقت «بلاكهور» وزملاؤها هذا التغيير من خلال مسح scanning أدمغة مفحوصين أخضعتهم للتنويم المغناطيسي. فحينما أخبر الباحثون هؤلاء بأن أذرعهم جرى رفعها بواسطة حبل أو بكرة، رفع المفحوصون أذرعهم؛ أما أدمغة المفحوصين فقد استجابت وكان أحدا آخر يقوم برفع أذرعهم هذه، وليس هم من يقومون بذلك.

يمكن لعجز مشابه في إدراك الذات أن يكمن وراء بعض أعراض داء الفصام. فبعض المفحوصين الذين يعانون داء الفصام

هل هو مجرد وجه ظريف آخر؟^١

صور تحولت فيها صورة وجه «د. W» إلى صورة وجه «كازانيكا» تدريجياً وعرضوها في ترتيب عشوائي (في الأسفل). وطلبوا إلى «د. W» أن يجيب مع كل صورة عن السؤال الآتي: هل هذا هو أنا؟ ثم كرروا العملية مشترطين أن يجيب مع كل صورة عن السؤال الآتي: هل هذا هو «صايكه» أو المقصود «كازانيكا»؟ وأعادوا الاختبار ذاته باستخدام وجوه أناس آخرين يعرفهم «د. W» جيداً.

لقد وجدوا أن نصف الكرة المخية الأيمن لدى «د. W» كان أكثر نشاطاً حينما تعرف وجوه آخرين بالفهم، لكن نصف كرتة المخية الأيسر كان الأكثر نشاطاً حينما رأى نفسه في الصور. إن هذه الاكتشافات تؤيد فرضية كون الذات شيئاً خاصاً. ومع ذلك، فممازالت القضية غير محسومة وبعيدة عن الحل؛ إذ إن كلا المعسكرين لديه أدلة في صالحه.

«د. R» رُسِّقته، مدير تحرير مجلة ساينتفيك أمريكان



«كازانيكا»



«د. W»

حسبما يذكر «د. زيمر» في هذه المقالة، فإن الباحثين لا يتفقون على ما إذا كان الدماغ يعامل الذات على نحو خاص، بحيث يعالج المعلومات المتعلقة بالذات بشكل يختلف عن معالجة المعلومات المتعلقة بالنواحي الأخرى من الحياة. ويجادل البعض بأن أجزاء أدمغتنا التي يتغير نشاطها حينما نفكر بذواتنا إنما تفعل هذا فقط لأننا نألف ذواتنا، وليس لكون الأمر يتعلق بهذه الذات على وجه

التخصيص. وكل شيء آخر كان مألوفاً سوف يبعث الاستجابة نفسها. وفي دراسة تنصدي لهذه المسألة، قام الباحثون بتصوير رجل أعطي اسم «د. W». وكان نصف الكرة المخية لهذا الشخص يعملان بشكل مستقل (أحدهما عن الآخر) إثر جراحة قُطعت فيها الاتصالات بينهما (بغرض معالجة صرع مُعْدٍ). وكذلك صور هؤلاء الباحثون شخصاً مألوفاً جداً لذلك الرجل واسمه «د. M» كازانيكا، وهو باحث معروف جيداً في مجال الدماغ صرف أوقاتاً طويلاً مع «د. W»؛ ومن ثم قاسوا بإنشاء سلسلة



10 في المئة
«د. W»

تحول شكل الوجه

90 في المئة
«د. W»

لديهم تلك الخبرة.

أجرت «بلاكمور» مسحاً لدماغ السيدة «C» وقارنت استجاباتها باستجابات متطوعين أسوياء. وهنا وجدت «بلاكمور» أن المناطق الحساسة للمس لدى السيدة «C» استجابت بشكل أكثر قوة لمشهد إنسان آخر يجري لمسه مقارنة بالمناطق الحساسة للمس عند المفحوصين الأسوياء. يضاف إلى ذلك أن الموضع الذي يطلق عليه اسم الجزيرة الأمامية anterior insula (والموجود على سطح الدماغ غير بعيد من الأذن) غداً فعلاً لدى السيدة «C» مع دون أن يحدث ذلك لدى المتطوعين الأسوياء. وترى «بلاكمور» دلالة قيمة في كون الجزيرة الأمامية هذه قد أظهرت فعالية في مسح دماغية لدى أناس عرضت عليهم صور لوجوههم هم أو كانوا يتفكرون ذكرياتهم. وقد تساعد الجزيرة الأمامية على توصيف معلومات تتعلق بذواتنا بدلاً من أن تتعلق بالآخرين. وفي حالة السيدة «C»، تقوم الجزيرة الأمامية بهذا

خبرات الآخرين. ونذكر على سبيل المثال، أن رؤيتنا شخصاً يتعرض إلى وكز مؤلم، إنما تستثير عصبونات في منطقة الألم الخاصة بأدمغتنا نحن. وقد وجدت «بلاكمور» وزملاؤها أن رؤية شخص يلمسه شخص آخر يمكن أن تنشّط العصبونات المراتية هذه.

لقد عرض هذا الفريق على مجموعة من المتطوعين أفلاماً فيديو لأناس آخرين جرى لمسهم في الجانب الأيسر أو الأيمن من الوجه أو الرقبة، فاثارت هذه الأفلام استجابة في بعض مناطق أدمغة المتطوعين تماثل ما حدث حين جرى لمس المتطوعين في الأجزاء المقابلة من أجسامهم. هذا وكانت «بلاكمور» استلهمت القيام بهذه الدراسة حينما قابلت سيدة بلغت من العمر 41 عاماً دُعيت بالرمز «C» وكانت قد تَقَصَّصت هذا التطابق الإحساسي مع الغير بصورة مذهلة؛ ذلك أن منظر شخص ما أثناء لمسه كان يجعل السيدة «C» تشعر كأن أحداً لمسها في المكان نفسه من جسمها هي. وتعقب «بلاكمور» على ذلك قائلة: «كانت هذه السيدة تظن أن جميع الناس

يصبحون مقتنعين بأنهم لا يستطيعون التحكم في أجسامهم هم. وتوضح «بلاكمور» ذلك قائلة: «إنهم يتوصلون إلى مسك كأس ما، وتكون حركتهم سوية تماماً، ولكنهم يقولون (إنهم ليسوا هم من فعل ذلك، بل تلك الآلة الموجودة هناك، فهي التي تحكمت فينا وجعلتنا نفعل ذلك).»

توجي الدراسات على المصابين بالفصام أن التنبؤات السينة لأفعالهم قد تكون مصدر أوهامهم. فبسبب عدم مضاهاة إحساساتهم لتنبؤاتهم يتبع شعور بأن شيئاً آخر هو المسؤول. وكذلك يمكن أن تخلق التنبؤات السينة ما يشعر به بعض مرضى الفصام من هلوسات سمعية. فلكون هؤلاء المرضى غير قادرين على التنبؤ بأصواتهم الداخلية، فإنهم يظنونها تعود لأحد غيرهم.

إن أحد أسباب كون حس الذات هشاً بهذا القدر قد يكمن في أن العقل البشري يحاول باستمرار الدخول إلى عقول الناس الآخرين. فقد اكتشف العلماء وجود ما يسمى عصبونات مرآتية mirror neurons تحاكي

مكونات شبكة للذات^(*)

إن المناطق الدماغية الموضحة أدناه هي من بين المناطق التي جرى إنشائها (بحسب بعض الدراسات على الأقل)، كمشاركة في تظهير أو استرجاع المعلومات المتعلقة خصيصاً بالذات أو بالمحافظة على شعور متماسك بالذات خلال جميع المواقف. ونذكر للإيضاح أن المشهد أدناه يحذف نصف الكرة المخية الأيسر فيما عدا منطقة الجزيرة الأمامية التي تحصى.



القشرة المخية أمام الجبهي الوسطى medial prefrontal cortex. إنها بقعة من العصبونات تقع في الشق بين نصفي الكرة المخية خلف العينين مباشرة. وقد لفتت المنطقة نفسها الانتباه في دراسات على الذات أجرتها مختبرات أخرى. ويحاول «هيدرتون» في الوقت الحاضر استنتاج الدور الذي تؤديه هذه المنطقة.

يقول «هيدرتون»: «إنه لمن السخريه أن نفكر بوجود أي بقعة في الدماغ تكون هي الذات». وبدلاً من ذلك، فهو يشتبه في إمكانية أن تربط هذه الباحة area جميع المدركات والذاكرات التي تساعد على توليد حس

Components of A Self-Network (*)
A Common Denominator (**)

كانت كلمة النعت هذه ظهرت بأحرف كبيرة. ومن ثم قارن هؤلاء الباحثون أنماط الفعالية الدماغية التي أحدثتها كل نوع من الأسئلة، فوجدوا أن الأسئلة التي تتعلق بالذات قد نشطت بعض المناطق الدماغية، في حين أن الأسئلة التي تتعلق بالآخرين لم تنشط تلك المناطق. وقد رجحت نتائجهم فرضية كون «الذات شيئاً خاصاً» على النظرة التي ترى في «الذات شيئاً مألوفاً».

قاسم مشترك^(**)

ثمة منطقة وجددها فريق «هيدرتون» مهمة للتفكير بذات امرئ ما، ألا وهي

التخصيص للمعلومات على نحو خاطئ. وكذلك ألفت مسوح الدماغ الضوء على نواح أخرى من الذات. فقد كان «هيدرتون» ورؤسلاؤه [في دارتموث] يستخدمون هذه التقنية للتدقيق في الكيفية التي يتذكر بها الناس المعلومات حول ذواتهم على نحو أفضل من تذكرهم لذوات الآخرين: إذ قام هذا الفريق بتصوير أدمغة متطوعين كانوا يشاهدون سلسلة من كلمات النعوت adjectives. ففي بعض الحالات سأل الباحثون المفحوصين إذا ما كانت إحدى هذه الكلمات تنطبق عليهم أنفسهم. وفي حالات أخرى سألوهم إذا ما كانت إحدى كلمات النعوت هذه تنطبق على بوش. وفي حالة ثالثة سألوهم إن

قد يحدد المسح الدماغي ذات يوم ما إذا كان الخرف قد أتلّف الذات لدى المصاب به.



بعدة أنواع من التفكير.

يقول «هيدرتون»: «إن معظم الوقت الذي نسترسل أثناءه في أحلام اليقظة، نقضيه في التفكير في شيء حدث لنا أو نفكر خلاله في غيرنا من الناس. ويتضمن كل ذلك تدقيقاً في الذات self-reflection.

وثمة علماء آخرون يدرسون الشبكات الدماغية التي يمكن أن تتطوّر القشرة المخية أمام الجبهية الوسطى، إذ يستخدم M. ليبيرمان» [من جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس] مسوحاً دماغية لحل لغز «B.D.»، وهو الرجل الذي بقي يُعرّف نفسه على الرغم من معاناته فقدان الذاكرة (النساعة). amnesia فقد قام «ليبيرمان» وزملاؤه بإجراء مسح لأدمغة مجموعتين من المتطوعين، تألفت إحداهما من لاعبي كرة قدم وتألفت الأخرى من ممثلين مُرتجلين improvisational actors؛ ثم كتب هؤلاء الباحثون قائمة كلمات لكل من المجموعتين ذات صلة بإحدى المجموعتين. (بالنسبة إلى لاعبي كرة القدم: رياضي، قوي، سريع؛ وبالنسبة إلى الممثلين: مؤدّ، مسرحي، وهكذا). وكذلك أعدوا قائمة ثالثة من الكلمات لا تنطبق على أي من المجموعتين (مثل: مشوش، موثوق)؛ ثم عرضوا هذه الكلمات على مخصصيهم وطلبوا إليهم أن يقرروا إن كانت كل كلمة تنطبق عليهم أو لا.

لقد تنوعت أدمغة المتطوعين في استجاباتهم لهذه الكلمات المختلفة. لقد مالت الكلمات المتعلقة بكرة القدم إلى زيادة النشاط في شبكة مميزة داخل أدمغة لاعبي القدم، وهي الشبكة نفسها التي أصبحت أكثر نشاطاً لدى الممثلين فيما يخص الكلمات المتعلقة بهم (بالممثلين)؛ أما حينما عُرض على المفحوصين في إحدى المجموعتين ما يخص إحدى المجموعتين من الكلمات، فإن شبكة غير التي سبقت في أدمغتهم غدت أكثر نشاطاً. ويشير

«ليبيرمان» إلى هاتين الشبكتين باسم المنظومة (الجعلة) التدقيقية reflective system (أو المنظومة C) والمنظومة الانعكاسية reflexive system (أو المنظومة X).

تضمّ المنظومة C الحصين وأجزاء دماغية معروفة باسترجاع الذاكرات. كما تشمل مناطق تستطيع استبقاء أجزاء المعلومات بشكل واع في العقل، فحينما نكون في ظروف جديدة فإن إحساسنا بذواتنا يعتمد على التفكير الصريح في خبراتنا.

بيد أن «ليبيرمان» يجادل بأن المنظومة X تتولى المهمة مع الزمن، فبدلاً من الذاكرات تكوّن encode المنظومة X هذا الحسّ موجّهة إياه إلى المناطق التي تولّد الاستجابات الانفعالية السريعة التي لا تعتمد على الاستدلال الصريح، بل على الارتباطات (الاقترانات) الإحصائية. ونشير هنا إلى أن المنظومة X بطيئة في تشكيل معرفتها حول الذات، لأنها تحتاج إلى العديد من وقائع الخبرة لتشكيل هذه الارتباطات. ولكن ما إن تأخذ هذه المنظومة شكلها حتى تغدو قوية جداً. فلاعبو كرة القدم يعرفون ما إذا كانوا رياضيين أو أقوياء أو سريعين من دون أن يستشعروا ذاكراتهم؛ إذ إن تلك النعوت تنضم بشكل حميم إلى النعوت الذاتية. وبالمقابل، فإن لاعبي كرة القدم لا يملكون الغريزة الأساسية نفسها حول ما إذا كانوا مسرحيين. وهكذا فإن نتائج «ليبيرمان» يمكن أن تحل لغز مفارقة معرفة الذات لدى «B.D.». إذ من المعقول أن يكون ما أصابه من أذية دماغية قد محى منظومته التدقيقية من دون أن يمحى منظومته الانعكاسية.

ومع أن علم الذات العصبي self-neuroscience نوع من الاجتهاد أخذ بالازدهار في هذه الأيام، فهناك منتقدون له: إذ تقول «M. فَرَح» [وهي عالمة أعصاب في

الذات، بحيث تخلق شعوراً موحداً عمن نكون نحن. ويقول في هذا الصدد: «قد يكون الأمر شيئاً ما يضم المعلومات بعضها مع بعض بطريقة ذات معنى.»

فإذا كان «هيدرتون» على حق، فقد تؤدي القشرة أمام الجبهية الوسطى فيما يخص الذات الدور نفسه الذي يؤديه الحصين hippocampus فيما يخص الذاكرة. صحيح إن الحصين عضو أساسي في تكوين ذاكرات جديدة، بيد أن الناس يبقون محتفظين بذاكراتهم القديمة حتى بعد تلف الحصين. فبدلاً من اختزان الحصين المعلومات بداخله، يُعتقد بأنه يخلق الذاكرات عن طريق قيامه بوصل أجزاء دماغية مترامية البعد بعضها مع بعض.

قد تعمل القشرة أمام الجبهية الوسطى على خياطة stitching حس معرفتنا «بمن نكون» قطبة قطبة. ومن جانبها درست «A.D. كوسنارد» وزملاؤها [من جامعة واشنطن] ما يحدث في الدماغ حينما يكون هذا الأخير في حالة الراحة، أي حينما يكون غير منشغل بأي مهمة معينة. فتبيّن لهم أن القشرة المخية أمام الجبهية الوسطى تغدو أكثر نشاطاً في حالة الراحة منها حين القيام

التخصص المعرفي بجامعة بنسلفانيا]: «إن كثير من هذه الدراسات يخلق طليق العنان، تلك فإنها لا تقرأ شيئاً». وتجادل هذه الباحثة من التجارب لم تصمم بعناية تكفي لنفي تفسيرات أخرى، مثل التفسير الذي يأخذ باستخدامنا مناطق دماغية معينة للتفكير بأي شخص، بما في ذلك ذواتنا نفسها.

يعتقد «هيزرتون» وعلماء آخرون غيره من المختبرين في هذا البحث أن الباحثة «فرح» كانت صارمة أكثر مما يجب تجاه موضوع قتي كهذا. ومع ذلك، فهم متفقون على وجوب مبادئهم لاكتشاف الكثير حول شبكة الذات self-network وكيفية أداء وظائفها.

الذات المتطورة^(١١)

قد يتيح اكتشاف هذه الشبكة للعلماء أن يفهموا كيف تطور إحساسنا بالذات. قبالا للبشر من الرئيسات ربما كان لديهم إدراك الذات الجسمية الأساسي الذي تدرسه «بلاكمور» ومشاركونها (ذلك أن الدراسات على النسانيس توضح بأن النسانيس تنبأ بأفعالها الخاصة). أما البشر فقد طوروا حسا بالذات لا نظير له في تعقيد. وقد يكون من المهم أن تكون القشرة الخية أمام الجبهة الوسطى «واحدة من أهم المناطق الدماغية البشرية تميزاً». حسب قول «طيرمان». فهذه القشرة لدى البشر ليست أكبر منها لدى الرئيسات غير البشرية فحسب، بل إنها كذلك تمتلك تركيزاً أكبر لعصبونات فريدة الشكل تدعى الخلايا المغزلية spindle cells. ولا يعرف العلماء حتى الآن عمل هذه العصبونات ولكنهم يشتبهون في أنها تؤدي دوراً مهماً في معالجة المعلومات. ويعلق «ليبرمان» قائلاً: «يبدو أن ثمة شيئاً خاصاً هناك».

يعتقد «هيزرتون» أن شبكة الذات البشرية يمكن أن تكون قد نشأت نتيجة للحياة الاجتماعية المعقدة لدى أسلافنا. على مدى ملايين من السنين كانت فصيلة الإنسان hominid تعيش في جماعات

صغيرة يتعاون أفرادها فيما بينهم لإيجاد الغذاء وتقاسم ما وجدوه، ويقول «هيزرتون»: «إن الطريقة الصالحة الوحيدة تكون عبر ضبط النفس self-control. ويجب عليك أن تتعاون وتمتلك الثقة». ويجادل بأن هذه الأنواع من السلوكيات تتطلب إدراكاً متطوراً من المرء بنفسه.

إذا كانت الذات البشرية ذات التجهيز المكتمل هي نتاج مجتمع فصيلة الإنسان فإن تلك الصلة قد تفسر لماذا توجد تداخلات مثيرة بين الكيفية التي تفكر بها بأنفسنا والكيفية التي يفكر بها الآخرون. ولا يقتصر هذا التداخل على القدرة على الشعور بمشاعر الغير physical empathy الذي تدرسه «بلاكمور». فالبشر كذلك ماهرون على نحو فريد في استدلال مقاصد وأفكار الآخرين من بني جنسهم. لقد أجرى العلماء مسحاً على أناس منشغلين باستخدام هذا الذي يدعى نظرية العقل theory of mind، فوجدوا أن بعض المناطق الدماغية التي تصبح ناشطة تشكل جزءاً من الشبكة المستعملة في التفكير حول الذات (بما في ذلك القشرة الخية أمام الجبهة الوسطى). ويقول «هيزرتون»: «إن فهمنا لذواتنا والتوصل إلى نظرية للعقل أمران مترابطان، وإنك تحتاج إليهما كليهما كي تكون كائنات بشرياً سوي الأداء».

إن الذات تتطلب وقتاً لتتطور بشكل كامل. ولطالما أدرك علماء النفس أن الأطفال يستغرقون فترة ما لاكتساب حسٍّ مستقر بذواتهم. ويعلق «طيرمان» على ذلك قائلاً: «لديهم تعارضات لا تزعجهم البتة بخصوص معاني الذات. فالأطفال الصغار لا يحاولون أن يقولوا لأنفسهم «ما أزال الشخص نفسه». ويبدو أنهم ببساطة لا يربطون بين الأشتات الصغيرة لمعنى الذات».

ويتساءل «ليبرمان» وزملاؤه إن كانوا يستطيعون متابعة معنى الذات المتغير لدى الأطفال وذلك باستخدام التصوير الدماغي. لقد بدأوا يدرسون مجموعة من الأطفال ويخططون لإجراء مسح عليهم كل 18

شهرًا، ما بين سن التاسعة وسن الخامسة عشرة. ويقول «ليبرمان»: «طلبنا إلى الأطفال أن يفكروا بذواتهم وأن يفكروا كذلك في «هاري پوتر». وقام هو وفريقه بمقارنة النشاط الدماغي في كل مهمة، كما قارنوا تلك النتائج مع نظيراتها لدى الكبار.

ويقول «طيرمان»: «حينما تنتظر إلى أطفال في سن العاشرة، تجدهم يبدون نفس تنشيط activation القشرة الخية أمام الجبهة الوسطى الذي يبدية الكبار، بيد أنه توجد منطقة أخرى تصبح ناشطة لدى الكبار، تعرف باسم الطلل precuneus، ولها قصة مختلفة. فحينما يفكر الصغار بذواتهم، فإنهم يُنشطون هذه المنطقة بمقدار يقل عن تنشيطهم إياها حينما يفكرون في «هاري پوتر»».

هذا ويشتهب «طيرمان» في أن شبكة الذات لدى الأطفال تبقى في حالة إنشاء، ويقول: «إنهم يملكون الشبكة ولكنهم لا يجيدون تطبيقاتها مثلما يفعل الكبار».

استبصارات في داء الزايمر^(١٢)

ولكن ما إن يتم إنشاء شبكة الذات حتى تعمل بكفاءة. ويعلق «w. سيللي» [وهو عالم أعصاب في جامعة كاليفورنيا بسان فرانسيسكو] قائلاً: «وحتى بالنسبة إلى المنظومة الإيصارية، أستطيع إغلاق عيني لأمنحها بعض الراحة. ولكنني لن أستطيع أبداً أن أتملص من العيش في جسمي أو من تجسيد حقيقة كوني الشخص نفسه الذي كنته قبل عشر ثوانٍ أو عشر سنوات. لا أستطيع أبداً الهروب من ذلك، ومن ثم فإن تلك الشبكة لابد أن تكون ناشطة».

كلما ازدادت الطاقة التي تستهلكها خلية ما، ازدادت خطورة إيداء نفسها بالمنتجات الجانبية السامة. ويشتهب «سيللي» بأن العصبونات الدووية في شبكة الذات تكون سريعة التأثر vulnerable بشكل خاص بهذا الضرر على مر الحياة. ويجادل «سيللي» بأن

محركات تعرف فوق البيانات الحاسوبية^(١)

تصاميم حاسوبية جديدة تعالج بكفاءة أكثر دفوق^(٢) البيانات
من أجل الكشف عن الفيروسات الحاسوبية والسيّامات^(٣).

<O. سنكر>



المعالجة (XML) markup language لا تتماشى بسهولة مع المعالجة المتوازية parallel processing.

والوصول إلى قرار حول احتواء رسالة ما على كلمة تشير إلى سيّام spam، مثل كلمة سحب (يانصيب) lottery أو فياغرا viagra، يتطلب تحفّص عدد من الپارامترات^(٤) parameters المتتالية للإجابة عن سؤال مثل: هل تتضمن الوثيقة التي يتم اختبارها كلمة lottery أو سحباً متبوعة بالكلمة «ادفع»؟ إذ إن توزيع مثل هذه المهمة على صفيّف^(٥) من المعالجات لمعالجتها بصورة متوازية هو بحزلة السعي وراء المتاعب، وقد بدأ المهندسون عوضاً عن ذلك بإيلاء المعالجات التشاركية coprocessors أدواراً أكثر تخصصاً؛ بحيث يحتفظ المعالج الميكروي الرئيسي بمسؤولية الموزّع الأساس لوظائف منظومة التشغيل operating system المهمة. هذا بينما تستير تصاميم المعالجات التي تقوم بالبحث عن السيّام والفيروسات أساليب تُستخدم في معالجة البيانات (المخططات البيانية) graphics التي طالما استخدمت وحدات خاصة بها لمعالجة معضلات كهذه. وفي الآونة الأخيرة، استأثر صنف من المحركات

لقد استمرت صناعة الحواسيب مدة أطول مما هو مبرر لها بكثير بناءً على تأكيدات أن معالجات processors أسرع ستظهر كل بضع سنين لتحل مشكلات عديدة أسوأها عدم كفاية برمجيات التطبيق application software وتضخم حجوماتها. إلا أن الترف الذي شهدته صناعة الحواسيب حتى الآن بدأ بالانحسار؛ إذ يتعاظم استهلاك الطاقة وتُذَر صفائح الدارة circuit boards التي تُركب عليها المعالجات الميكروية microprocessors بالتحول إلى أجهزة للتدفئة. وقد استجابت الشركة Intel، التي ما زال قانون مور Moore's law المبجل سائداً لديها، كما استجاب غيرها من صنّاع المعدات الحاسوبية hardware لهذا التحدي بتصميم حواسيب يمكنها تشغيل معالجات متعددة multiprocessors بسرعات أقل.

لكن المعالجات المتعددة تأتي دائماً مع مشكلاتها. فمن جهة أولى، تعتبر كتابة البرمجيات التي توزّع المهام الحاسوبية على أجزاء المعالجات المختلفة، من الأعباء التي لا يرغب الكثير من البرمّجين في القيام بها. إضافة إلى ذلك، فإن الكثير من تطبيقات التشبيك networking applications الأسرع تناميًا - بدءاً من البحث عن الفيروسات إلى قراءة وثائق شبكة الويب المكوّدة باستخدام لغة التاشير القابلة للتعميد extensible

(١) العنوان الأصلي: RECOGNITION ENGINES

(٢) ج: دفوق stream

(٣) سيّام: تعريب للمصطلح spam، ويعني رسالة أو إعلاناً يُنجم على بريد إلكتروني خاص

(٤) أو الوسطاء array (٥)

يدعى محركات تسريع كشف التدخل^(١) ببعض الأعمال التي كانت تقوم بها وحدات المعالجة المركزية (CPU) المركزية (central processing units) المتزايدة أعباء. بل بدأت بعض المختبرات الأكاديمية والصناعية بدفع هذا الهجوم خطوة إضافية إلى الأمام باستضافة جميع أنماط المعلومات «الجارية» في شبكة ما. إذ قامت هذه المختبرات بتطوير معالج جرياني stream processor عمومي الغاية general-purpose يمكن إعادة برمجته بسهولة، ويمكنه تناول تطبيقات متعددة، سواء كانت حماية الجدار الناري firewall أو ضغط السجلات compressing files.

محرك مطابقة الشكل^(٢)

لقد أحرز مختبر أبحاث الشركة IBM في زيوريخ عدداً من جوائز نوبل لقاء تطويره المجهر الناحس النفقي scanning tunneling microscope والموصلية الفائقة superconductivity في درجات الحرارة المرتفعة. كذلك أدى المختبر دور الوسيط (أو همزة الوصل) في تطوير برمجيات وتجهيزات الشبكات. وفي مؤتمر نظم معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات IEEE في الشهر 2005/8 في جامعة ستانفورد، تحت عنوان «شبيكات ساخنة»^(٣)، قدم «ج. فان لوتنترن» [من مختبر أبحاث IBM في زيوريخ] عرضاً حول معالج جرياني عنوانه «محرك مطابق للشكل»^(٤) طوره بالتعاون مع زميله «T. إنكبرسن» يمكنه التقاط الفيروسات والسيام وغيرها من العوامل المسببة.

وقد طور معالج الشركة IBM بفضل أبحاث سابقة حول كيفية إرسال البيانات خلال حواسيب الإنترنت الشبكية، المسماة الموجهات routers. وكان «v. لوتنترن» [وهو هولندي الأصل] قد عمل في أواخر التسعينات في مختبر الشركة IBM بزيوريخ على تطوير تقنيات كفوة لفحص لوائح البيانات التي تستخدمها الموجهات من أجل العثور عن المعلومات اللازمة لتوجيه رزم البيانات data packets عبر شبكة ما. فعلى الموجهات تفحص عشرات الملايين من الرزم في الثانية، وتدقيق عشرات الآلاف من المدخلات entries في قواعد البيانات الخاصة بها للترؤف بالوصلة link التالية ضمن الشبكة التي ينبغي إرسال الرزم إليها من خلال عدد من بوابات الخرج output ports. وقد صمم «فان لوتنترن» حينذاك عامل تلبيد (هاش) hash للبحث ضمن لوائح الموجهات. وتنتج المعادلة الرياضية التي طورها «فان لوتنترن» رقماً، يدعى رانز التلبيد (هاش) hash index، يشير إلى الموضع في لائحة وضعت ضمن المكونات الصلبة^(٥) للمعالج حيث بوابة الخرج المؤدية إلى الوصلة التي تقوم بدورها بتحريك الرزمة المعنية إلى الموجه التالي ضمن الشبكة.

وقد طور «فان لوتنترن» خوارزمية تستند إلى عامل تلبيد (هاش) - وهو البحث بلانحة التوجيه المتوازنة^(٦) (BaRT) - وتسمح هذه الخوارزمية بتقليص درامي لعدد البتات اللازمة لتخزين لوائح التوجيه ضمن الذاكرة. ويمكن للخوارزمية BaRT، التي قد تظهر مستقبلاً في عدد من منتجات الشركة IBM، أن تتعامل مع 25 مليون رزمة في الثانية، وقد يتسنى لها في المستقبل التعامل مع أربعة أضعاف هذا المقدار من حركة البيانات.

إن عمليات البحث في لوائح التوجيه تتطلب النظر إلى خيط قصير من البيانات يقع في مقدمة (الجزء الأول) من رزمة البيانات، وهو بمنزلة الترويسة التي تنبئ بالوجهة النهائية للرزمة. ومع الانتشار غير المسبوق للفيروسات والسيام وغيرها، مما يسمى الآن بالكيان الرديء malware، فإن على معالجات الشبكة network processors أن تقررا بعمق أكبر بكثير محتويات الرزمة للبحث عن علامات تشير إلى نيات غير حميدة قد يضمها المرسل. وعلى نحو مشابه فإن قراءة اللغات المستخدمة في توكيد الوثائق، مثل XML، تضع أعباء كبيرة على الكيان الصلب الذي تستخدمه الشبكات. لذا أصبح عامل التلبيد الذي صممه «فان لوتنترن» أداة جوهرية في معالج الدفق^(٧) لدى الشركة IBM.

ما بعد فون نويمان^(٨)

تحتاج المعالجات التقليدية إلى تعليمات instructions متعددة للتعامل مع كودات XML، أو للبحث عن الكيان الرديء، ما يؤدي إلى حدوث اختناقي يولد الحاجة إلى عشرات من دورات الساعة clock cycles للتعامل مع محرّف character وحيد. وعلى الرغم من التحسينات الكثيرة التي أدخلت على وحدة المعالج المركزي فإن المعالج المركزي الاعتيادي مازال يعتمد - إلى حد كبير - على المعمارية architecture التي وضعها الرياضياتي الكبير «ج. فون نويمان» في أربعينات القرن العشرين، ومن بعده راندا الحاسوب «د. پرسپر إكرت» و«د. موشلي». تُحضر هذه المعمارية، التي يطلق عليها اسم معمارية فون نويمان^(٩)، تعليمية من عنوان ضمن الذاكرة وتقوم بتنفيذها، ثم يجري تحيين^(١٠) عداد برمجي program counter من خلال تزويده بعنوان التعليمات التالية التي ينبغي تنفيذها. وتعيد هذه الدورة نفسها إلا إذا طلبت تعليمية من المعالج دون لبس أن يقفز إلى موضع آخر في البرنامج. وإذا صادف المعالج مهمة تتميز بأية درجة من التعقيد - مثلاً، كالتحقق من أن محرّف ما مسموح به أم لا في توكيد اللغة XML، فإن عليه تنفيذ العديد من التعليمات ودورات الساعة لينجز المهمة.

وقد استعار «فان لوتنترن» و«إنكبرسن» خطة مفاهيمية^(١١) تعود إلى السنوات الأولى للحوسبة، وهي آلة حالة محدودة finite-state machine تعود جذورها إلى أعمال راند الحوسبة «A. N. تورينج»^(١٢). وآلة الحالة المحدودة هذه توفر وصفاً أساسياً لكيفية عمل أية آلة للحوسبة. أي كيف تؤدي عمليات الحوسبة عبر سلسلة من الخطوات المنفصلة وكيف تنقّص عدداً محدوداً من الحالات الضمنية في أي وقت من الأوقات. ومن وجهة نظر مجردة، فمعمارية «فون نويمان» يمكن اعتبارها آلة حالة محدودة. لكن نوع الآلة التي صممها «فان لوتنترن» و«إنكبرسن» تتميز عن وحدة المعالجة المركزية التي تركز إلى معمارية «فون نويمان» بأنها لا تتضمن عدداً برمجياً.

Beysrd von Neumann (++)

Hot Chips (٢)

hardware (٤)

stream processor (٦)

updated (٨)

Pattern-Matching Engine (*)

intrusion detection (١)

pattern-matching engine (٣)

the Balanced Routing Table (٥)

The von Neumann architecture (٧)

conceptual (٩)

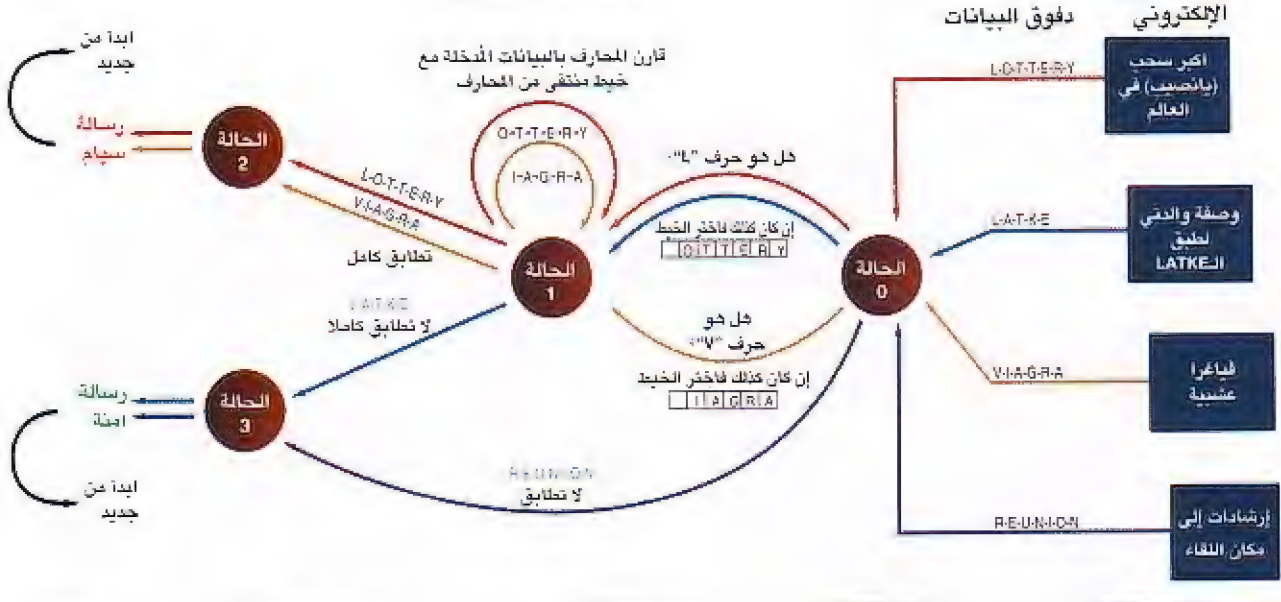
(١٠) [انظر: أفكار آلان تورينج كنسبة في علم الحاسوب، المجلد ٤ (2000)،

صفحة 28].

مطابقة الكثير مقابل المقارنة واحدا بواحد^(١)

تعالج آلات الحالة المحدودة تيارات البيانات بمطابقة كل محرف يدخل إليها على نحو متزامن مع العديد من الحروف المختلفة التي تدلّ على وجود سبام، والمخزونة في الذاكرة. وفي المقابل، على آلة «ثون نويمان» المعهودة أن تقيم الحروف المخزونة في الذاكرة واحدا بواحد. وفي الحالة الصغرى^(٢)، تقارن آلة الحالة المحدودة أول الأمر الحرف "L" باثنين

آلة الحالة المحدودة



وعلى العكس من آلة «ثون نويمان» تستطيع آلة الحالة المحدودة التي صمّمها «ثان لوتنر» و«إنكبرسن» القيام في الوقت ذاته بتناول جملة من المسائل ضمن دورة واحدة، بدلا من اعتبار مسألة واحدة فقط، كما هي الحال في العملية التي يتحكم فيها العداد البرمجي. وهذا هو أحد الأسباب التي أدت إلى تبني آلات الحالة المحدودة منذ سنوات في معالجات البيانات وفي منظومات تعرف الصوت voice recognition وفي تصميم المعدات الحاسوبية. إلا أن آلات الحالة المحدودة غير قابلة لإعادة البرمجة بسهولة، بحيث يؤدي تنفيذها إلى التضحية بالمرونة وإمكانية الاستخدام لأغراض متعددة، وهذه مميزات وحدة المعالجة المركزية المستندة إلى معمارية «ثون نويمان».

إلا أن الاختناق الناجم عن الطابع المتتالي لعمل وحدات المعالجة المركزية التقليدية بدأ يقلص الفروق بينها وبين معالجات الحالة المحدودة. فمن الممكن، على سبيل المثال، أن تعاد برمجة الكيان الصلب الذي صمّمته الشركة IBM استنادا إلى آلة الحالة المحدودة إذا تفتّشت الفيروسات ضمته أو إذا تغيرت معايير لغة XML.

يعتمد تصميم «ثان لوتنر» و«إنكبرسن» على مخطط حالة state diagram، وهو صنف من المخططات مؤلف من عقد دائرية أو حالات، ووصلات بين هذه العقد تمثل الانتقال من حالة لأخرى. ومن الممكن تشبيه آلة الحالة المحدودة بالبوابة الدوارة التي يدخل عبرها المسافرون إلى محطات قطار النفق. قعقدة البوابة الابتدائية هي حالة ندعوها «مقفلة» locked. ويشار إلى إدخال قطعة نقود في المخطط

البياني بخطّ يمثل «الانتقال» transition من الحالة الراهنة للبوابة إلى عقدة «غير مقفلة». في حين يمثل مرور المسافر عبر البوابة بخطّ آخر يبين عودة البوابة إلى حالة العقدة المقفلة.

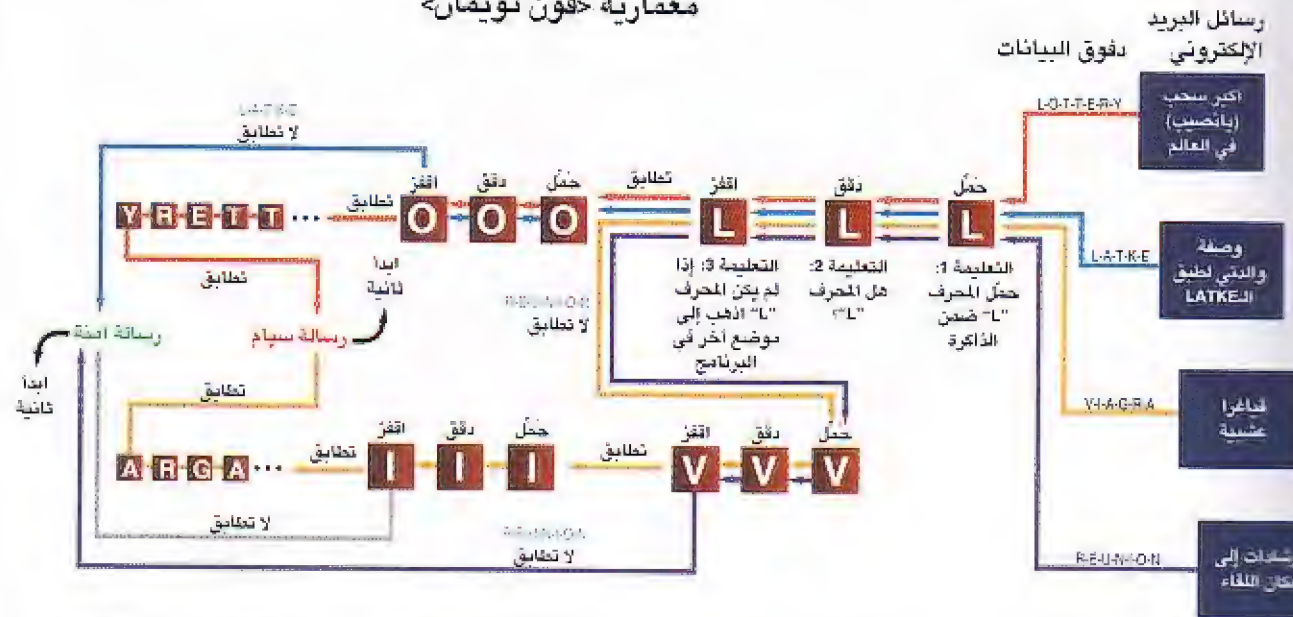
وفي آلة الحالة المحدودة التي صمّمها الشركة IBM، يمكن لحالة ما أن تحدث صلة بين أكثر من عقدتين. ففي تطبيق واقعي للمعالجة الجبريائية، يمكن أن ترتبط عقدة ما بوصلات إلى الكثير من العقد الأخرى، وينبغي أن يتم تقييم كل وصلة في الوقت نفسه قبل اتخاذ قرار بالتحرك نحو الحالة التالية في المخطط. فعند البحث عن سبام ضمن سيل من البيانات الداخلة، يقرأ المعالج من الذاكرة كلمة «lottery» ولا تقوم الآلة بمجرد التحقق من أن الحرف «o» يتبع الحرف «l» ضمن خيط المحارف الواردة بل تتحقق أيضا ما إذا كانت رسالة سبامية^(٣) قد أدخلت محرّف الخط السفلي underscore character «_» لخداع مُصدّر السبام spam blocker. وكجزء من البحث ذاته، الذي ينجز ضمن دورة واحدة للمعالج، يمكن أن يتم البحث عن الحرف «t» في كلمة «lottery» في ذات الوقت الذي قد يجري خلاله البحث عن الحرف «v» في كلمة «Viagra» وغيره من الحروف التي توجد في الذاكرة. وفي المعالج التقليدي لا بدّ من القيام بكل واحدة من هذه الخطوات على نحو متتال [انظر الإطار في هاتين الصفحتين].

و في المختبر على الأقل، فإن استخدام آلة الحالة المحدودة في

وفي معمارية «ثون نويمان» المعهودة، تتم مقارنة كل محرف داخل بمحرف واحد فقط في الوقت نفسه. إضافة إلى ذلك، لا بد من إنجاز ثلاث تعليمات أو أكثر. ومن ثم خوض عدد من دورات المعالجة من أجل كل محرف؛ واحدة لتحصيل المحرف، وأخرى للتأكد من كونه المحرف الذي يتم البحث عنه، وثالثة للانتقال إلى موضع آخر في البرنامج. إن لم يكن المحرف الداخل هو المطلوب فتدليه.

الرسائل السهامية، أما إذا لم يحصل تطابق، كما لو كانت الكلمة التي تبدأ بحرف "L" في "LATKE"، فإن المعدات الحاسوبية تنتقل إلى الحالة "3"، مشعرة بعدم وجود سهام كامل. أما إذا لم يتطابق الحرف الأول في البيانات المُخزنة مع بوادي الكلمات المخزونة في الذاكرة، كما لو كان هذا الحرف "R" في مطلع كلمة "REUNION"، فإن آلة تنتقل مباشرة من الحالة "0" إلى الحالة "3".

معمارية «ثون نويمان»



الهندسة والتقانة التابعة لها. وهي تدرس تضمين المعالج في عدد من المنتجات. وليست الشركة IBM الوحيدة التي تبنت هذه الفكرة. فقد طورت جامعات وشركات أخرى آلات حالة محدودة قابلة للبرمجة. فقام «د لوكونود» [وهو أستاذ في جامعة واشنطن بسانت لويس] بالمشاركة في تأسيس الشركة Global Velocity لتسويق معالج كهذا. ويفيد «قان لوتنر» بأن تصميم الشركة IBM يتميز بقدرته على التعامل مع مجموعة كبيرة من التطبيقات، ما يجعله معالجا عمومي الغرض، صالحا لأي من التطبيقات التي تتطلب معالجة جبرانية. وقد تستمر إمكانيات هذه المعالجات التشاركية في التطور مع جنوح مهام حرجية في الحوسبة بعيدا عن تحكم وحدة المعالجة المركزية، وسيضمن هذا تعايش تراث كل من «تورينك» و«ثون نويمان» على مسافة سنتيمترات أحدهما من الآخر على لوحة الدارة الواحدة. ■

لمزيد من المعلومات حول:

The Alphabets, Words and Languages of Finite State machines.

انظر: www.c3.lanl.gov/mega-math/workbk/machines.html

Global Velocity: شركة طورت مفاهيم مماثلة لتلك التي صممها فريق الشركة IBM وعنوان موقعها على الإنترنت: www.globalvelocity.com/index.html

XML Accelerator Engine.

انظر: www.research.ibm.com/XML/IBM_Zurich_XML_Accelerator_Engine_pap_er_2004May04.pdf

تطبيقات جبرانية يؤدي إلى تحسن كبير في الأداء. وقد ذكر «قان لوتنر» في اجتماع عقد تحت عنوان شبيبات ساخنة «Hot Chips» أن بإمكان آلة الحالة المحدودة التي صممتها الشركة IBM معالجة الحارف بسرعة تصل إلى 20 جيجابايت في الثانية، وذلك لدى التحري عن الفيروسات والسياسات وغير ذلك من التطبيقات، أي سرعة تفوق عشرة إلى مئة مرة سرعة المعالجات المعهودة عند قيامها بمهام مماثلة. والأداة المفتاح في إحراز هذه السرعة هي خوارزمية لائحة التوجيه المتوازنة أو BaRT. وفي الكثير من آلات الحالة المحدودة يستهلك تخزين القواعد التي ينبغي بموجبها إحراز النقلات ضمن مخطط حالة ما قسما كبيرا من الذاكرة. ويمكن للشركة IBM أن تخزن في آلة الحالة المحدودة التي صممتها نحو 25 000 محرف في أقل من مئة كيلوبايت من الذاكرة، وهو حيز من الذاكرة يبلغ 1/500 مما تتطلبه بعض آلات الحالة المحدودة الأخرى. ويتيح الكفاءة التي تتميز بها الخوارزمية التي صممت أصلا من أجل لوائح التوجيه بازدياد خطي في حاجاتها من الذاكرة: فإذا ازداد عدد قواعد الانتقال transition rules من واحدة إلى عشر تزداد الحاجة إلى الذاكرة بمقدار مماثل. وهذا خلافا للوضع في آلات الحالة المحدودة الأخرى، إذ يتطلب تضاعف عدد قواعد الانتقال عشر مرات بازديادا بمقدار مئة مرة في حجم الذاكرة.

تعرض الشركة IBM منذ مدة تقانة آلة الحالة المحدودة من أجل تطبيقات مخصصة: وتمنح رخصا لاستخدامها من خلال مجموعة

الألف طريقة وطريقة لقابلية المكاملة^(*)

إن المسائل الفيزيائية التي يمكننا حلها حلاً دقيقاً - والتي نسميها مسائل قابلة للمكاملة أو قابلة للحل - هي مسائل نادرة. وقد استطاع الفيزيائيون الربط بين ظواهر مختلفة بتحويل مسائل معقدة إلى مسائل يمكن حلها، وذلك بفضل الاستفادة من تناظرات خفية.

<D. برنارد> - <P. دي فرانسيسكو>

معادلات تطورية⁽¹⁾، واحدة لكل وسيط من الوسطاء (البارامترات) parameters الثلاثة التي تعيّن هيئة configuration النظام (المسافة التي تفصل الكوكبين والزوايتين اللتين تعيّنان الاتجاه في الفضاء للقطعة المستقيمة الواصلة بين الجسمين).

لم هذا الحل ممكن؟ لقد أثبت الرياضياتي الفرنسي <د. ليوفيل> في القرن التاسع عشر مبرهنة مهمة تقول: إذا كان عدد المقادير التي يحافظ عليها النظام عبر الزمن يساوي عدد درجات حرّيته⁽²⁾ (أي عدد المتغيرات اللازمة لتحديد) فإننا نستطيع، نظرياً، حل مسألة كبلر حلاً مضبوطاً، أي التعبير عن تطورها عبر الزمن تعبيراً صريحاً باستخدام عمليات رياضية أولية - كتبديل المتغيرات واللجوء إلى تكاملات لدوال في متغير واحد - ومن ثمّ جاء مصطلح «قابلية المكاملة».

تلك هي حالة مسألة كبلر - ما المقادير التي تتم المحافظة عليها خلال حركة الجسمين؟ تبين معادلات الميكانيك المعهود (التقليدي) أن الطاقة الكلية للنظام، وكذا عزمه الحركي الكلي (العزم الحركي لجسيم هو الجداء المتجهي⁽³⁾ لمتجه موقعه⁽⁴⁾ في متجه كمية حركته) يظلان ثابتين عبر الزمن. إن الحفاظ على الطاقة وعلى العزم الحركي ناتج من وجود تناظرات.

وهكذا فإن الحفاظ على الطاقة يعبر عن أن قوة الجذب التثاقلي لا ترتبط صراحة بالزمن. ونقول عندئذ إن النظام لا متغير invariant، أو متناظر بالانسحاب translation في الزمن: بمعنى أن تغيير مبدأ الزمن (أي لحظة الصفر) لا ينجّم عنه أي تأثير يمكن مراقبته. كما أن الحفاظ على العزم الحركي الكلي يرجع إلى التناظر الحاصل بفعل دوران مجمل الجسمين الضخمي الكتلة: لأن القوة التثاقلية بين الكوكبين لا ترتبط إلا بالمسافة التي تفصلهما، وليس بمنحى المستقيم الواصل بينهما. وبعبارة أخرى، فإننا لا نحدث أي تغيير إذا أخضعنا مجموعة الكتلتين المتأثرتين لدوران، مهما كانت زاوية هذا الدوران.

هل هناك تلميذ لا يشعر بالارتياح عندما يستطيع إيجاد حلّ لمسألة رياضية أو فيزيائية؟ وهل هناك فيزيائي لم يحلم بحل المعادلات التي تصف الظاهرة التي يدرسها؟ ذلك صحيح، لكن تجري الرياح بما لا تشتهي السفن: إذ إن حلّ المسائل لا تقبل حلولاً صريحة. وهذا لا يرجع إلى ضعف مواهب الأشخاص الذين يبحثون عن تلك الحلول، بل إلى البنية الرياضية للمسائل المطروحة التي تجعل الحل الوحيد الممكن هو حل تقريبي أو عددي.

هناك عدد قليل من المسائل التي تتمتع بحلول مضبوطة يمكن التعبير عنها بصيغة واضحة ومتناسكة (مثل تلك التي تعبر عن سقوط جسم في الفراغ)، وهي تسمى مسائل قابلة لحل مضبوط⁽⁵⁾ (تقول أيضاً إنها «قابلة للمكاملة، intégrable») وتخضع في الفيزياء لوضع خاص. إنها مسائل تسمح بالتأكد من صحة قوانين فيزيائية، لأننا نستطيع بوساطة هذه القوانين التنبؤ بدقة بتطور نظام عبر الزمن والتحقق من تطابق النتائج مع الدراسة النظرية. لكن السؤال المطروح هو: كيف نتعرف تلك المسائل القابلة للمكاملة؟

سنرى أن وجود الطول المضبوطة مرتبط بوجود تناظرات، كما هي حال المسألة المتميّزة لجسمين متأثرين ثقافلياً⁽⁶⁾، التي حلت في القرن السابع عشر. وسنصف بعد ذلك كيف يمكن أن يؤدي البحث عن التناظرات الخفية أحياناً إلى توسيع حقل «قابلية المكاملة» إلى مسائل جسيمات متأثرة، لاسيما في دراسة تغيرات حالة النظام الترموديناميكية (الحركية الحرارية)، وستبين أمثلة متعاقبة أن اكتشاف أسباب قابلية المكاملة أقام جسوراً بين العديد من حقول الفيزياء. وحتى الرياضيات، التي كانت تبدو وكأن لا روابط بينها. تلك هي أهمية النماذج القابلة للحل في الفيزياء!

إن أبرز مسألة قابلة للحل بالضبط هي مسألة كبلر Kepler، المتعلقة بحركتي جسمين ضخمي الكتلة، مثل حالة كوكب مع نجم من نجومه عندما يكونان خاضعين لفعل تجاذبهما التثاقلي. إن «حلّ» المسألة يعني هنا أن معرفة كتلتي هذين الجسمين، وكذا موقعيهما وسرعتهما الابتدائيتين، تمكّننا من وصف تطور موقعي الكوكبين عبر الزمن وصفا تحليلياً⁽⁷⁾ (أي بعبارات رياضية متماسكة). من أجل ذلك يكفي تحديد الموقع النسبي لكل من الكوكبين بدلالة الزمن. وتتمثل مسألة كبلر عندئذ في حل ثلاث

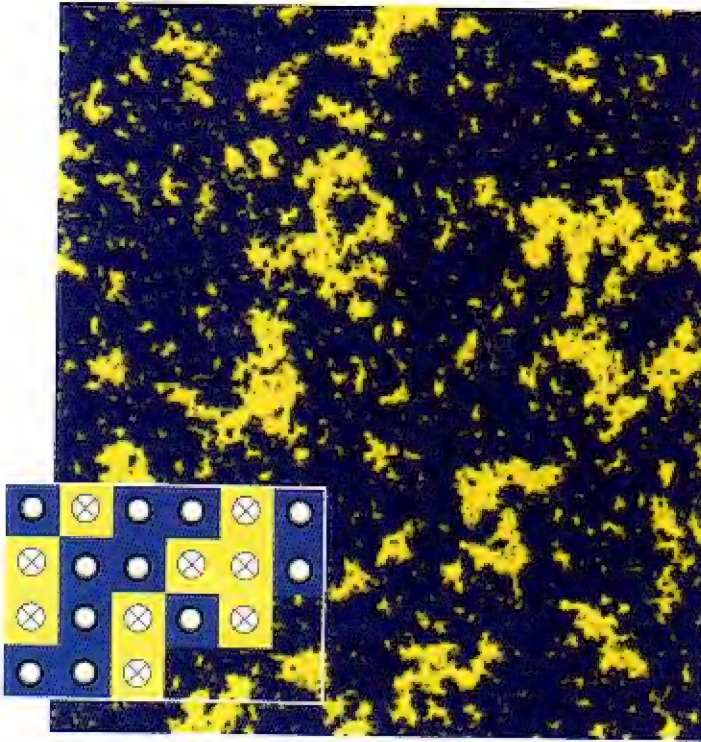
(*) هذه ترجمة للمقالة بعنوان: Les mille et une facettes de l'intégrabilité.

وقد صدرت في عدد الشهر 2005/10 من مجلة Pour la Science الفرنسية، وهي إحدى أخوات المجلد الثماني عشرة التي تترجم مجلة Scientific American.

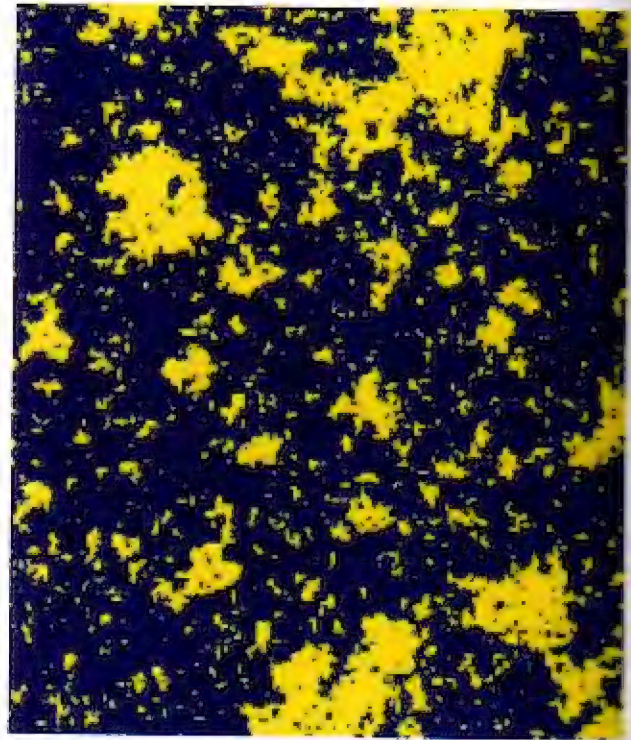
(1) interaction gravitationnelle (2) exactement solubles (3) analytique (4) degrés de liberté (5) vecteur position (6)

équations d'évolution (1) produit vectoriel (6) le vecteur position (7)

degré de liberté (5)



غير بمغنتطة (تكون فيها للعزوم المغنطيسية اتجاهات عشوائية). وبجوار درجة الحرارة، الحرارة، نلاحظ وجود لا تغير في السلم: عندما نعتبر سلما معيناً (في اليسار) نشاهد حشوداً مختلفة الحجوم، وعندما نجري تكبيراً (بمعامل 2 مثلاً، في اليمين) فإن النظام يظهر الهيئة العامة نفسها. يسمح اللاتغير المذكور بحساب دقيق لبعض خصائص النظام الذي نسميه نظاماً «قابلاً للمكاملة».



الشكل 1: إن تشكيلات العزوم المغنطيسية لنموذج معطى على شبكة ثنائية الأبعاد، حيث يكون لكل موقع في الشبكة عزم مغنطيسي موجه نحو الأعلى (باللون الأزرق) أو نحو الأسفل (باللون الأصفر)، تتكون (هذه التشكيلات) من حشود مختلفة الحجوم. عندما تكون درجة الحرارة «مخرجة»، فإنه يتم الانتقال من حالة بمغنتطة (تكون فيها معظم العزوم المغنطيسية موجهة نحو الاتجاه نفسه) إلى حالة

فيها سوى التأثير الكهرسكوني - نظاماً كمومياً قابلاً للمكاملة وذلك بفضل وجود تناظرات كافية.

كان عدد الأنظمة القابلة للمكاملة في مطلع القرن العشرين لا يتجاوز عدد أصابع اليد الواحدة. ففي الميكانيك المعهود كان الأمر يتعلق خصوصاً بخزاريق⁽¹⁾ متناظرة إلى حد ما وخاضعة أحياناً لقوة الجاذبية. وفي هذا السياق تجدر الإشارة إلى أن مسألة الأجسام الثلاثة المتأثرة ثقافياً - التي تبدو من البساطة بمكان - لا يمكن حلها حلاً مضبوطاً. وكذلك الأمر فيما يتعلق بالميكانيك الكمومي (الكوانتي) إذ لا يمكن بالضبط تحديد الدوال الموجية للذرة الثانية في التصنيف الدوري للعناصر - وهو الهيليوم (نواة وإلكترونان متأثران كهرسكونياً).

يعتبر الفيزيائيون الكون منقوصاً: ذلك أن الوضعيات الحقيقية تؤدي إلى نظم عدد مركباتها يفوق اثنين بكثير. وهكذا فإن جلّ الذرات لها عدد مرتفع من الإلكترونات، ونوّاها تتشكل من عدد مماثل من البروتونات والنيوترونات. والملاحظ أن عدد المركبات في السوائل والغازات كبير للغاية. وعليه فإننا بعيدون عن التفكير في إمكانية تحديد مسارات كل من المركبات الأولية لمثل تلك النظم. ولذلك ندخل في اعتبارنا متغيرات جديدة، تسمى متغيرات ماكروسكوبية (عينية) macroscopic (الضغط، درجة الحرارة، المغنتطة، ...) للمقادير المحصل عليها وذلك بحساب متوسطات

التناظرات تؤدي دوراً حاسماً⁽²⁾

عندما يتعلق الأمر بمسألة كيلر نلاحظ أن التناظرات - بفعل الانتساب في الزمن وبفعل الدوران - تكفي للحفاظ على ثلاثة مقادير مستقلة، وهي عدد درجات حرية النظام؛ ولذا تكون المسألة قابلة للمكاملة.

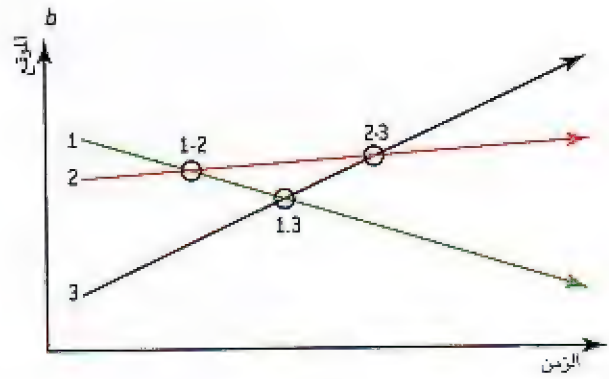
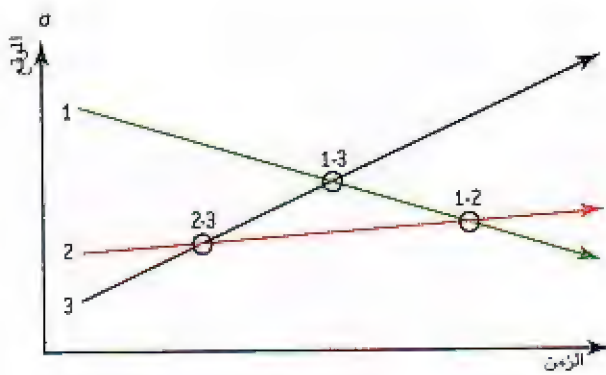
لقد تمّ حل مسألة الجسمين قبل أن يتم تحديد الصلة بين قابلية المكاملة والتناظرات، أو المقادير اللامتغيرة. لكن المقادير الثلاثة اللامتغيرة المستقلة في مسألة كيلر تضمن إمكانية كتابة الدوال الثلاث المستقلة، التي تصف موقعي الجسمين بدلالة الزمن، كتابة صريحة. يعني أنه يمكن ردّ المسألة إلى حلّ ثلاث مسائل أحادية الأبعاد (أي مخرجة حرية واحدة) ومستقلة. وقد تمّ التوصل إلى العلاقة بين التناظرات والمقادير اللامتغيرة في مطلع القرن العشرين وذلك من قبل الرياضياتية الألمانية E. نوتر⁽³⁾.

والملاحظ أن مفهوم قابلية المكاملة ينطبق أيضاً على النظم الكمومية (الكوانتية) quantum. فتمّة ما يكافئ مسألة كيلر: إنها ذرة الهيدروجين. في هذه الحالة، يكون الجسمان (بروتون وإلكترون) خاضعين لتفاعل كهرسكوني electrostatic، والمقدار المطلوب تعيينه هو الدالة⁽⁴⁾ الموجية، وهي الدالة التي تعبّر عن احتمال وجود الإلكترون في كل لحظة عند كل نقطة من الفضاء. إن الحل الدقيق لهذا النموذج معروف منذ العشرينات من القرن الماضي. وكما هي الحال بالنسبة إلى مسألة كيلر المعهودة فإن ذرة الهيدروجين تمثّل - عندما لا نراعي

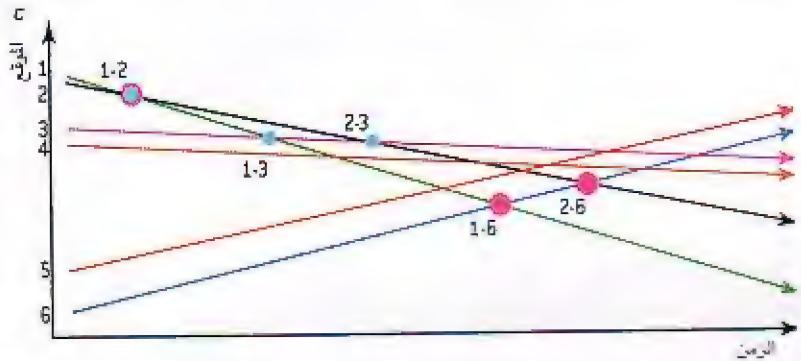
(1) Les symétries jouent un rôle clef

(2) fonction أو تابع.

(3) coupes ج: خذروف (دوامة أو بلبل)



الشكل 2: عندما تلتقي موجتان منعزلتان فإنهما تتقاطعان من دون أن تتشوهما. وهكذا فإننا نثبت أن الحالة النهائية لنظام مؤلف من ثلاث موجات منعزلة، حالة مستقلة عن الترتيب الذي يتم وفقه الاصطدامات (الشكلان a و b). وتسمح هذه الخاصية - المتعزلة في تناظر مجرد - بتحليل تأثير عدد كبير من اصطدامات مؤلفة من ثلاثة أجسام، بشكل يجعل النظام قابلاً للمعاملة. وبذلك نكون قد استخرجنا من بين المسارات الكثيرة (المبيّنة في الشكل c) نظامي اصطدام قابلين للمعاملة مؤلفين من ثلاثة أجسام: تلك المسارات التي تتقاطع عند النقاط 1-2 و 1-3 و 2-3 (النقاط الزرقاء)، وعند النقاط 1-2 و 1-6 و 2-6 (النقاط الحمراء).



من دون أن يُحدث ذلك تغييراً في شكلهما. وكل ما نلاحظه من تغيير في آخر المطاف هو بعض التأخر في سرعة الانتشار.

إن ثبات سرعات الموجات يتعارض مع ما نشاهده عند اصطدام جسمين رخوئين حيث يتم خلال الصدمة امتصاص جزء من الطاقة الحركية. أما بالنسبة إلى هذه الموجات، فليس ثمة فقدان للطاقة، بل على العكس فنحن نشاهد بشفافية جلية كل موجة واضحة المعالم بالنسبة إلى الأخريات، مع أنه ليس لهذه الموجات بنية صلبة.

يعتبر مثال الموجات المنعزلة مثلاً بئراً لسببين: أولهما تبنيانه إمكانية أن تكون مسألة قابلة للمعاملة على الرغم من كونها موصوفة بمعادلة معقدة وليس فيها تناظر ظاهري. ثم إن المثال يوضح أن قابلية مسألة للمعاملة تؤدي إلى ظهور خصائص جماعية بالغة الأهمية. لنكرر مجدداً أن خضوع سوليتونين لاصطدام لا ينتج عنه سوى تأخر في انتشار الموجة. وإذا ما قُدمت عدة سوليتونات من أية جهة من قناة، كلّ منها بسرعة وسعة amplitude معينتين، فإن الحالة الإجمالية للنظام (بعد مختلف الاصطدامات) لا تتعلق إلا بالحالة الابتدائية للنظام (أي حالته قبل حدوث أول اصطدام)، وهي لا تتعلق بتسلسل التأثيرات المتعاقبة. وعليه ينبغي إضافة هذه الخاصية - المتمثلة في اللاتغير بمبادلة permutation الاصطدامات - إلى قائمة الخصائص من هذا القبيل - مثل اللاتغير بالدوران - التي يحيط بها المختصون في المسائل القابلة للمعاملة.

ويمكن نقل فيزياء الموجات المنعزلة الهيدروديناميكية، وكذا تناظرها، إلى مسائل فيزيائية أخرى. لنعتبر مثلاً حالة موصل كهربائي أحادي الأبعاد يضم حشداً من الإلكترونات. إذا كان هناك إلكترون واحد، فإن معادلة شرودينغر Schrödinger - التي تمثل معادلة أساسية في

المتغيرات الميكروسكوبية (المجهريّة) microscopic للمركبات. وفي هذه الحالة، فإن الحل المضبوط لمسألة معينة يعني التحديد المضبوط لسلوك المتغيرات الماكروسكوبية الواحدة بدلالة الأخرى. فالأمر يتعلق هنا مثلاً بتعيين درجة الحرارة التي ينتقل عندها جسم من حالة إلى أخرى (مثل انتقال الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية أو الحالة الصلبة) وذلك بدلالة الضغط أو بدلالة متغير آخر ترمودينامي (حركي حراري).

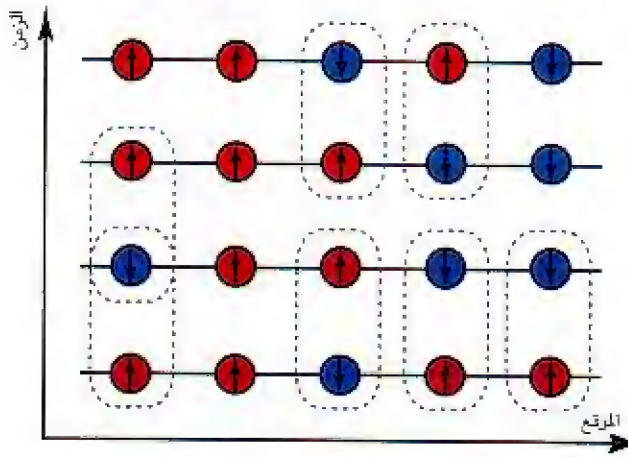
تنتج قابلية المعاملة - في معظم الحالات المدروسة من قبل الفيزيائيين - من تناظرات أكثر تعقيداً من تلك التي جئنا على ذكرها حتى الآن. ولنوضح ذلك من خلال ما يعرف بالسوليتون soliton الهيدرودينامي (الحركي المائي) hydrodynamic. إنها ظاهرة شاهدها في منتصف القرن التاسع عشر المهندس «د. روسل» وهو يتجول، محتطاً حصانه، على ضفاف إحدى القنوات المائية. لقد شاهد «روسل» أن أمواجاً منعزلة تتشكل في القناة وتنتشر فيها على مسافات كبيرة من دون أن يتغير شكلها.

كائنات لامتغيرة: السوليتونات الهيدروديناميكية^(١)

تحكم في هذه الموجات الهيدروديناميكية - المسماة موجات منعزلة أو سوليتونات - إحدى معادلات ميكانيك السوائل التي تم البرهان عليها في أواخر القرن التاسع عشر. وكانت تلك المعادلة قابلة للمعاملة: إذ نعرف كيف نحسب بالضبط ملامح^(٢) السوليتون الهيدرودينامي - أي ارتفاع سطح الماء عند كل نقطة منه، وكيفية تحديد انتشار الموجة. ومن المذهل أكثر أننا نلاحظ - بالملاحظة والحساب معاً - أن موجتين منعزلتين ومتعاكستين في الاتجاه تتقاطعان وتخترق إحداهما الأخرى

(١) Des objets invariants: les solitons hydrodynamiques

(٢) profil: النظر العام.

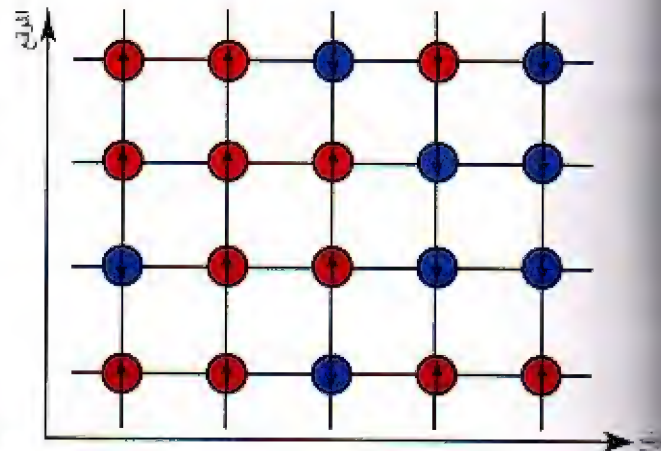
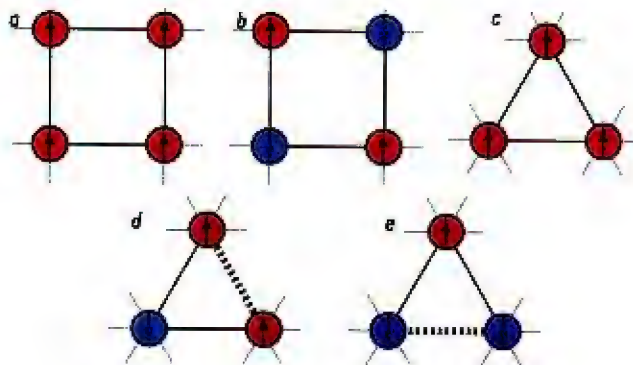


(الشكل الأيمن) يمكن دراسة خصائصه «السكونية» (أي تلك التي لا تتعلق بالزمن). وبفضل هذا التكافؤ يمكننا تطبيق طرائق مستخدمة لحل مسائل أحادية الأبعاد على نظم ثنائية الأبعاد.

ثلاثة (انظر الشكل 2).

إننا لم نتطرق حتى الآن إلا لأنظمة أحادية الأبعاد - وهذا إما لكونها هكذا بشكل صريح، وإما لأن التناظرات كانت تسمح باختزال ضمني لمسألة متعددة الأبعاد فتُردّها إلى عدة مسائل مستقلة أحادية الأبعاد. والجدير بالذكر هنا أنه لا توجد مبرهنة تشير إلى أن المسائل الأحادية الأبعاد هي المسائل الوحيدة القابلة للمكاملة، لكن الواقع ينهض بأن حل المسألة يزداد تعقيدا بقدر تزايد عدد أبعادها.

ويمكن الانتقال من حالة بُعد واحد إلى حالة بُعدين باعتبار أن جملة أحادية الأبعاد تتطور عبر الزمن تمثل نظاما سكونيا ثنائي الأبعاد. لنلجأ مرة أخرى إلى المقارنة وذلك كما فعلنا لدى الانتقال من مسألة هيدرودينامية إلى مسألة جسيمات كمومية متأثرة. فعندما أشرنا إلى حالة الإلكترونات المتحركة على مستقيم كنا نريد وصف تطوّر مواقعها (أو بالأحرى، احتمال وجودها) عبر الزمن. لننظر إلى هذا النظام من زاوية أخرى. تكون الإلكترونات في لحظة معينة في هيئة ما تحددها مواقعها أو تحددها متغيرات أخرى. وفي اللحظة التالية تتغير هذه الهيئة، وهكذا دواليك. لننتخِل الآن أننا وضعنا هذه «اللحظات» جنباً إلى جنب. يمكن أن نعتبر من الناحية النظرية بأننا تحصلنا بذلك على نظام سكوني ذي بعدين (انظر الشكل 3).

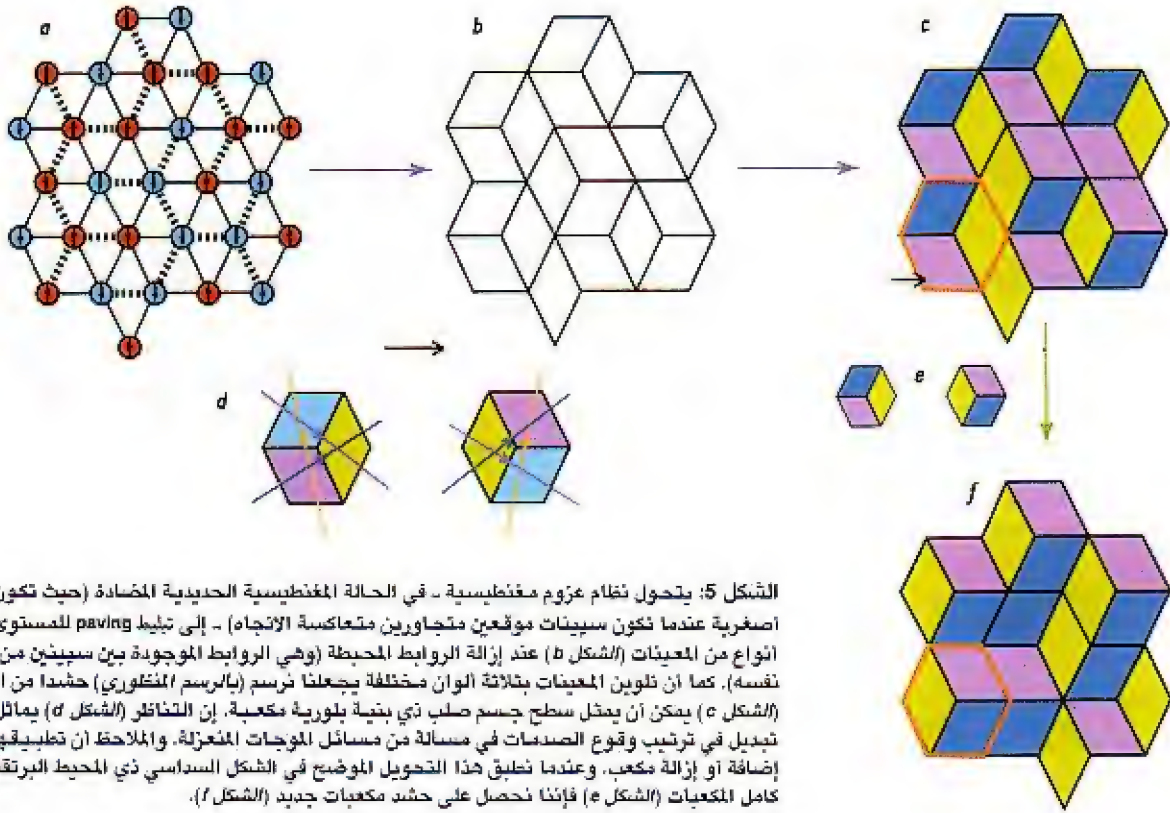


الشكل 3: عندما يتطور نظام أحادي الأبعاد عبر الزمن - كما تتطور مجموعة مستقلة من السبينات حيث يستطيع كل منها تغيير اتجاهه في كل «خطوة» (الشكل الأيسر) - فإن هذا النظام يصبح مكافئاً لنظام ثنائي الأبعاد

الميكانيك الكمومي لأنها تتحكم في تطور الدالة الموجية - تتنبأ بانتشار الدالة الموجية للإلكترون عبر الزمن: بمعنى أن الدالة لا تحافظ على شكلها. لنتخيل الآن وجود عدد كبير من الإلكترونات، ولنفترض أنها لا تتأثر فيما بينها إلا عند نقطة التقائها، وهنا تتناثر بشدة. ضمن هذه الشروط، فإن الدالة الموجية الكلية للنظام ذي الطاقة المثبتة - وهي تكافئ مركب دوال موجية لجسيم واحد - تحافظ على بنيتها عبر الزمن شأنها في ذلك شأن موجة منعزلة.

وهكذا فإن اللاتغير بمبادلة الاصطدامات ينتقل أيضاً إلى هذا النظام المؤلف من جسيمات كمومية متأثرة عند نقاط تماسها. ماذا يحدث عندما يقع اصطدام بين جسيمين تابعين لنظام كمومي قابل للمكاملة؟ نلاحظ - كما هي الحال بالنسبة إلى السوليتونات المعهودة - أن ملامح الدوال الموجية تُحفظ خلال الاصطدامات، وأن التأثير الوحيد لتلك الاصطدامات هو تأخر محتمل مقارنة بالانتشار الحر (أي الانتشار من دون اصطدامات). ومن ثم نشبت أن ترتيب وقوع الاصطدامات في النظام ليس له أهمية ذات شأن. والتأخرات المتراكمة بعدد هي التي لها أهمية. وكما هي الحال بالنسبة إلى السوليتونات الهيدرودينامية، فإن قابلية المكاملة لهذه المسألة ناجمة عن خاصية اللاتغير بمبادلة الصدمات بين الجسيمات. لذا باستطاعتنا استنتاج جميع خصائص النظام انطلاقاً من وصف الصدمات بين جسيمات

الشكل 4: عندما نعتبر حالة جسم مغناطيسي حديدي فإن طاقة تفاعل سبينين متجاورين طاقة أصغرية إذا ما كان للسبينات الاتجاه نفسه (جميعها متوازية). ويمكن إجمالاً تحقيق هذا الشرط سواء تعلق الأمر بشبكة مربعة (الشكل a) أو شبكة مثلثية (الشكل e). وخلافاً لذلك فإن طاقة التآثر في حالة جسم مغناطيسي حديدي مضاد تكون أصغرية عندما يكون للسبينين المتجاورين اتجاهان متعاكسان. وهنا يمكن ألا نخل بهذا الشرط في جميع نقاط شبكة مربعة (الشكل b) لكننا لا نستطيع ذلك في شبكة مثلثية (الشكلان d و e). وينبغي أن نلاحظ في شبكة مثلثية مغناطيسية حديدية مضادة أن السبينات الثلاثة المجاورة لا يمكن أن تكون جميعها متضادة التوازي: إذا كان سبينان متضادي التوازي، فإن الثالث يوازي أحدهما. ومن ثم فلا بد أن يكون هناك «إحباط» للروابط الواصلة بين السبينات المتجاورة: وهناك على الأقل تلك عدد اتجاهات السبينات يستحيل إخضاعه لقيد التوازي المضاد.



الشكل 5: يتحول نظام عزوم مغناطيسية - في الحالة المغناطيسية الحديدية المضادة (حيث تكون الطاقة أصغر) عندما تكون سبينات موقعين متجاورين متعاكسة الاتجاه - إلى تيلين paving للمستوى بثلاثة أنواع من المعينات (الشكل b) عند إزالة الروابط المحيطة (وهي الروابط الموجودة بين سبينين من الاتجاه نفسه). كما أن تلوين المعينات بثلاثة ألوان مختلفة يجعلنا نرسم (بالرسم المنطوري) حشداً من المكعبات (الشكل c) يمكن أن يمثل سطح جسم صلب ذي بنية بلورية مكعبة. إن التناظر (الشكل d) مماثل إجراء تبديل في ترتيب وقوع الصدقات في مسالة من مسائل الموجات المنعزلة. والملاحظ أن تطبيقها يكافئ إضافة أو إزالة مكعب. وعندما تطبق هذا التحويل الموضح في الشكل السداسي ذي المحيط البرتقالي على كامل المكعبات (الشكل e) فإننا نحصل على حشد مكعبات جديد (الشكل f).

عددا كبيرا من السبينات يتجه نحو الاتجاه نفسه: ذلك أن هناك مغنطة شاملة للمادة المستعملة. وعندما تكون درجة الحرارة المطلقة منعدمة فإن جميع السبينات تتركز في الاتجاه نفسه وتكون المغنطة أعظمية. وعلى العكس من ذلك، عندما تكون درجة الحرارة مرتفعة فإن التقلبات الحرارية تتغلب على التأثيرات المتبادلة: يكون للعزوم المغناطيسية اتجاه عشوائي وتكون المغنطة الشاملة الناجمة عنها معدومة. وهكذا عندما ترتفع درجة الحرارة فإن طور phase النظام يتغير، حيث ينتقل من طور ممغنط إلى طور غير ممغنط.

يسمح نموذج «أيزنك» ومشتقاته بوصف مختصر لبعض نواحي عدد كبير من الظواهر: من تغير الأطوار المغناطيسية إلى تأثيرات الجسيمات الأولية مرورا بالتحول سائل-غاز. لتركز الآن على الحالة ذات البعدين. فبفضل التشابه القائم بين نظام سكوني ذي بعدين ونظام أحادي الأبعاد يتطور عبر الزمن يمكن القيام بحساب مضبوط لنموذج «أيزنك» في حالة بعدين، وكذا حساب متغيرات ترموديناميكية أخرى. كان هذا الحل المضبوط عملاً رياضياً بالغ الأهمية، أنجزه عام 1944 الفيزيائي النرويجي J. أونساجر، وذلك بعد أكثر من عشرين سنة من تاريخ إدخال نموذج «أيزنك».

نموذج «أيزنك»، نموذج مثالي للفيزياء الإحصائية⁽¹⁾

يمكن بصفة عامة، في حالة بعدين، إنشاء نماذج قابلة للمكاملة لوصف ظواهر جماعية تؤدي إليها التأثيرات الميكروية للجسيمات. ومن أبسط صيغ نموذج «أيزنك» نموذج المغناطيسي الحديدي المضاد antiferromagnetic، حيث يساعد التأثير المتبادل على وجود اتجاهين

من حالة بُعد واحد إلى حالة بُعدين⁽²⁾

يتمثل تغيير وجهة نظرنا للمسألة في اعتبار الهياكل configurations المختلفة لنظام أحادي الأبعاد على فترة زمنية معينة بمثابة مجموعة هيئات سكونية لنظام ذي بعدين في لحظة واحدة. وهكذا تلمح كيف يمكن أن تعمم الطرق المطبقة على الأنظمة الأحادية الأبعاد القابلة للمكاملة لتشمل دراسة الظواهر السكونية ذات البعدين. غير أن ما يشغل بال الفيزيائيين في كثير من الحالات هو الخصائص السكونية للنظام. ذلك ما نلاحظه في الترموديناميكية، وفي الفيزياء الإحصائية، حيث يتركز اهتمامنا على تغيرات حالة جسم بدلالة درجة الحرارة أو الضغط أو حقل مغناطيسي خارجي أو مقدار فيزيائي آخر. إن نمط النماذج المستخدمة من قبل المختصين في الفيزياء الإحصائية هو نموذج إيزنك Ising، الذي أدخله الفيزيائي الألماني W. لنز عام 1920 ثم واصل البحث فيه تلميذه E. أيزنك. ويتجسد النموذج في شبكة نقاط موزعة بصفة دورية نضع فوقها عزوماً مغناطيسية، المكافئ الميكروسكوبي لمغناطيسات صغيرة. ومن حيث المبدأ، يمكن أن تكون لهذه الشبكة أبعاد فضائية بالقدر الذي نريد، كما أن شكلها الهندسي يمكن أن يكون كيفياً. وفي أبسط الحالات، التي تفيد مثلاً في نمذجة بلور مغناطيسي، نجد أن الشبكة مكعبة cubic والعزوم المغناطيسية تمثل سبين spin (أي العزم المغناطيسي الذاتي intrinsic) ذرات الشبكة البلورية. إضافة إلى ذلك، فإننا نفترض أن العزوم المغناطيسية لا تأخذ سوى قيمتين متعاكستين في الاتجاه، وأنها لا تتأثر إلا مع أقرب جيرانها.

نقول عن التأثير إنه مغناطيسي حديدي إذا مال كل سبينين متجاورين إلى التوجه نحو الاتجاه نفسه، وعليه نجد في حالة انخفاض درجة الحرارة - عندما تكون التقلبات الحرارية ضعيفة - أن



يتغير. فعلى سبيل المثال تصبح الدوائر غير متحركة؛ لكنها تتحول إلى دوائر. إن هذه الخاصية لامتناهية بالنسبة إلى التحويل، يسمح وجود اللامتغيرات للفيزيائيين بتصنيف نظم فيزيائية في الصنف نفسه في حين أنها قبلها مختلفة.

الوان للتمييز بين أنماط المعينات الثلاثة في التبليط، وهو ما يجعلنا نظهر (في رسم منظوري) تكديسًا ثلاثي الأبعاد يتألف من مكعبات، والواقع أن ذلك التكديس يعرف سطحًا فاصلًا لبلورين مكعبي الشبكة، أحدهما مشكل من تكديس مكعبات والآخر مما تبقى. وعندما نصيغ بهذا الشكل نموذج «أيزنك» المغنطيسي الحديدي المضاد فإنه يصبح مثالاً لنموذج يدعى «صليب على صليب» solid on solid ويكتب اختصاراً (SOS). وفي هذا الإطار، يمكننا استكشاف جميع الهياكل الممكنة للسطوح الفاصلة، أي تكديسات المكعبات وذلك بإضافة أو إزالة مكعبات أولية بصورة متعاقبة.

في التمثيل المنظوري نلاحظ أن العملية الأولية الموافقة لإضافة أو إزالة مكعب تتمثل فقط في المبادلة permutation بين المعينات الثلاثة داخل الشكل السداسي. ثم إن هذا التحويل الأولي يذكرنا بالمفهوم الأساسي في قابلية المكاملة: إنه استقلال سيرورات الاصطدامات عن الترتيب الزمني لحدوث تلك الاصطدامات. وعندما نترجم ذلك إلى لغة نموذجنا الإحصائي فإن اللاتغير المشار إليه هنا يؤدي إلى إمكانية استنتاج الخصائص الإجمالية للنظام من تعداد هياكل ثلاثة مواقع متجاورة. وفي إطار أعم للنظم القابلة للمكاملة يمكن التعبير عن هذا التناظر - الرابط بين الخصائص الإجمالية للنظام ومميزاته المحلية - بواسطة علاقات رياضية، تدعى علاقات يانك-بaxter Yang، كان قد أدخلها في أواخر الستينات من القرن الماضي الفيزيائي الصيني «N. Ch» يانك والفيزيائي الأسترالي «R. باكستر».

التنوع الموحد^(١)

تسمح قابلية المكاملة بإقامة روابط بين ظواهر فيزيائية متنوعة إلى حد كبير. وهكذا نلاحظ في نموذج موضَّح على شبكة أن المركبات الواقعة في عقد الشبكة تتأثر وفق قواعد يمكن للفيزيائي اختيارها بالشكل الذي يريده. وحسب التأثير المختار، فإن خصائص النظام يمكن أن تكون جد مختلفة. فعلى سبيل المثال نلاحظ في نموذج



الشكل 6: نعتبر فسيفساء دورية تغطي المستوي مكونة من دوائر متحركة (الشكل الرئيس، الخلية الأولية)، ثم نطبق عليها التحويل المطابق $x \rightarrow x/2$ الذي يحول كل نقطة (x, y) إلى النقطة $(x/(x^2+y^2), -y/(x^2+y^2))$. عندئذ نلاحظ أن مظهر الفسيفساء

متعاكسين لعزمين مغنطيسيين متجاورين، وليس مساعدة الاتجاهات المتطابقة، كما هي حال النموذج المغنطيسي الحديدي. وهكذا نلاحظ في حالة شبكة مربعة أن الحالة الأساسية - أي حالة الطاقة الأصغر - مجموعة العزوم المغنطيسية المدومة الحرارة تمثل بنية شبيهة برقعة الشطرنج: كل سبين محاط بسبينات اتجاهها معاكس لاتجاهه.

إن الوضع يزداد تعقيداً إذا ما عرفنا النموذج على شبكة ذات هندسة مختلفة: مثلاً، شبكة مثلثية. نجد في هذه الهندسة أن كل عزم مغنطيسي قريب من ستة جيران (انظر الشكل 4). عندما تكون درجة الحرارة جد منخفضة فإن عدد ثنائيات العزوم المغنطيسية المتجاورة والمتجهة في اتجاهات متعاكسة ينبغي أن يكون أعظمياً. نقول عن ثنائية سبينين متجاورين متجهين باتجاه واحد إنها مُحْبَطَة frustrated إلا أننا نرى بسهولة في حال شبكة مثلثية أن هناك ثنائيتين فقط من بين ثلاث يمكن أن تحلّ معا روابط ملائمة، أي سبينات متضادة التوازي antiparallel.

وفي نموذج المغنطيسية الحديدية هناك حالة واحدة مستقرة الطاقة في درجة حرارة منخفضة: إنها الحالة التي تكون فيها العزوم المغنطيسية متجهة في الاتجاه نفسه. أما في حالة المغنطيسية الحديدية المضادة فيوجد عدد من حالات التوازن يساوي عدد إمكانيات ترتيب ثنائية العزوم المغنطيسية المحبطة وغير المحبطة على الشبكة. وعندما تكون درجة الحرارة متدنية، فإن نموذج المغنطيسية الحديدية المضادة يقبل المكاملة. دعنا نحاول إدراك السبب. لنبدأ بإثبات أن هذا النموذج للمغنطيسية المحبطة يكافئ مسائلتين أخريين. من أجل ذلك نزيل الروابط المحبطة، أي روابط الشبكة التي تصل عزوما مغنطيسية لها الاتجاه نفسه. وبذلك نشكل معينات rhombuses - تتألف من ثنائيات مثلثية - تشترك في رابط محيط (انظر الشكل 5). إننا أمام مسألة تبليط paving عشوائي للمستوي ذات علاقة بفيزياء أشباه البلورات. ونستخلص من ذلك أن هناك عدداً من الحالات الأساسية في النموذج الابتدائي للمغنطيسي الحديدي المضاد يساوي عدد التبليطات الممكنة للمستوي بواسطة معينات من تلك الأنماط الثلاثة.

توجد صياغة أخرى للمسألة نفسها تتمثل في استخدام ثلاثة

التبليط بوساطة المعينات الوارد أنفا أن بعض الاختيارات للتأثيرات المحلية تضمن ارتباط توجيه أي معين بالمعينات التي تفصلها عنه مسافات كبيرة جدا. ومن ثم يحدث أحيانا أن تكون المسافات المميزة التي تؤثر فيها هذه الارتباطات، مسافات تقارب في مقاديرها حجم النظام بأكمله. في هذه الحالة يكون الحديث عن نظم حرجة. ولنظم كهذه، لا تؤثر كثيرا التفاصيل على المستوى المحلي في الخصائص الإجمالية أو الجماعية. وفي النموذج SOS مثلا، نستطيع أن نعوض تكديس المكعبات الصغيرة بسطح متصل من دون أن نفقد معلومات مفيدة في موضوع عرض المسألة - كما لو لاحظنا الوضع من بعد إثر إزالة تفاصيل الحالة الابتدائية.

وهكذا، وعلى ضوء ما ذكرنا آنفا، فإن ربط التفاصيل الميكروية للنموذج بالطبيعة «الحرجة» للنظام، يضمن تعادل النظر مجعريا لجزء من النظام مع النظر إلى النظام بأكمله (انظر الشكل 1). وفي هذه الحالة نتحدث، على اللاتغير بتبديل السلم، وفي الحالة الخاصة للنظم الثنائية الأبعاد، يؤدي هذا اللاتغير إلى لاتغير إثر التحويولات المطابقة المحلية. أي تلك التحويولات التي كان من المفترض أن تتغير تبعا لتغير السلم من نقطة إلى أخرى من نقاط النظام. تلك هي الفكرة التي استغلها عام 1984 الباحثون السوفييت «أ. بلاقين» و«أ. بولياكوف» و«أ. زولودشيكوف» كي يرسوا أسس اللاتغير المطابق الثنائي الأبعاد⁽¹⁾.

اللاتغير وقابلية المكاملة⁽²⁾

يعتبر اللاتغير مؤشرا ينبئ بقابلية تلك النظم للمكاملة. وقد سمح ثراء بنية اللاتغير المطابق بفرز وتصنيف مختلف السلوكيات الحرجة التي يمكن أن تظهر في النظم الثنائية الأبعاد ذات التأثير المحلي (أي حيث لا تتأثر سوى المواقع المتجاورة). كما مكن أخيرا من وضع جدول شبيه بجدول «مندلييف» يبرز الظواهر الجماعية لتلك النظم. وينبغي أن ندرك هنا أن كل عنصر من الجدول يوافق العديد من النظم على شبكة مستوية تشترك في كثير من السلوكيات الجماعية الحرجة: تسمى هذه العناصر صفوفًا شمولية، فعلى سبيل المثال، نلاحظ أن جميع نماذج «ايزنك» المغناطيسية الحديدية الثنائية الأبعاد تنتمي إلى صف شمولية واحد، وذلك مهما كانت الشبكة المستوية المختارة؛ وعلى العكس من ذلك، فقد سبق أن رأينا أن الحالة المغناطيسية المضادة أقل «شمولية» لأنها مرتبطة ببنية الشبكة. نلاحظ أن بعض الأشكال الهندسية تؤدي إلى إحباط ثنائيات السهينات. لكن هذه الحالة التي تُطرح في كثير من المسائل الفيزيائية تسمح ببلوغ صفوف شمولية أخرى في الجدول المذكور، من جهة أخرى، فإن اللاتغير المطابق وجد تطبيقات حديثة تسمح بنمذجة مواد جديدة ذات أحجام نانومترية⁽³⁾ ومن أجلها تم تبني وصف شبه أحادي الأبعاد.

وخلال العشرين سنة الأخيرة اكتسبت النظم القابلة للمكاملة، بفضل ثرائها البنيوي، مكانة مرموقة في الرياضيات والفيزياء. وكان ذلك قد بدأ باكتشاف صلة بين مفاهيم قابلية المكاملة ونظرية الجبر غير التبديلية المرتبطة بتباديل permutations مجموعة أشياء. ذلك أن الرابط بين اصطدامات N جسيما وتباديل N جسيما يتمثل في النظر إلى العناصر التي تجري عليها التبديل كأنها الجسيمات نفسها، علما بأن ترتيب مواقع الجسيمات يتبادل خلال كل اصطدام. توفّر عناصر زمرة group التباديل الحل الأبسط لعلاقات

يانك-بكستر، كما أنها توافق جسيمات من دون تأثر. أما إذا كانت الجسيمات متأثرة فلا بد من إجراء تعديل في صيغة الحل. وقد أثبتت الدراسة العامة لحلول معادلات يانك-بكستر أنها دراسة مثمرة. ذلك أنها أدت في الرياضيات إلى ميلاد نظرية الزمر الكمومية التي أدخلها خلال التسعينات من القرن العشرين الروسي «أ. درينفيلد» (الحائز ميدالية فيلدز لعام 1990) والياباني «أ. جيميو» والبولندي «أ. ورونوفيتش» كما أنها أظهرت صلات مع نظرية العقد استفاد منها بوجه خاص «أ. جونس» (الحائز ميدالية فيلدز لعام 1990).

تفرعات عدة في الفيزياء والرياضيات⁽⁴⁾

لقد جرت دراسة النماذج SOS الأتفة الذكر على صعيد آخر حيث تم اعتبار شبكات هندساتها تتغير عشوائيا من نقطة إلى أخرى، وذات طوبولوجيات مختلفة. وقد اتضح أن هذه النماذج ذات الهندسات المتقطعة قابلة للمكاملة أيضا، وأدى حلها إلى تصنيف تأثيرات هندسة عشوائية في الظواهر الحرجة الثنائية الأبعاد. ويفضل دراسة نماذج مماثلة استقطاع «أ. كونتسفيتش» (الحائز ميدالية فيلدز عام 1998، وعضو معهد الدراسات العليا العلمية الفرنسي IHES، الواقع في ضاحية بورس سورافيت الباريسية) تجديد الهندسة التعدادية⁽⁵⁾، وهي فرع قديم من فروع الرياضيات يعنى بتعداد أشياء (مستقيمات، مستويات، الخ...) خاضعة لعلاقات ذات صلة بتقاطعاتها. إضافة إلى ذلك، فإن هذه النماذج غالبا ما تُعتبر كصيغات أولية لنظريات الأوتار التي تدعي أنها توحد بين نظرية النسبية العامة والنظرية الكمومية. وهكذا فإن دراسة النظم القابلة للمكاملة وعلاقات يانك-بكستر تشعّت اليوم وتولدت منها تفرعات عدة في الفيزياء والرياضيات. فعالم قابلية المكاملة، عالم شبيه بنظام بيئي، توسّع بشكل معتبر مقتحما فروعا فيزيائية ورياضياتية بأكملها فصارت جميعها تشكل اختصاصا جديدا هجينا - يعيد النظر في مفاهيمه حرقا من موضوع إلى آخر، مقيما بذلك جسورا بين حقول علمية لا صلة بينها قبلها⁽⁶⁾.

Invariance et intégrabilité (A)

Des ramifications nombreuses en physique et en mathématiques (A*)

Invariance conforme bidimensionnelle (A*) conform (A)

النافومتر: وحدة قياس طول تساوي جزءا من بليون من المتر. وعلى سبيل المثال فإن سمك شعرة من شعر الإنسان يراوح بين 50 ألف و 100 ألف نانومتر.

la géométrie énumérative (A) a priori (A*) (التحوير)

المؤلفان

Denis Bernard - Philippe di Francesco

«برنارد» مدير أبحاث لدى المركز القومي للبحث العلمي الفرنسي CNRS. فاز عام 2004 بالميدالية الفضية لهذا المركز. «دي فرنسيسكو» كان أستاذ رياضيات في جامعة شيليل هيل بالولايات المتحدة الأمريكية، وهو فيزيائي لدى هيئة الطاقة الذرية الفرنسية. يعمل المؤلفان الآن في قسم الفيزياء النظرية بساكي (فرنسا).

مراجع للاستزادة

O. BABELON, D. BERNARD et M. TALON, Introduction to classical integrable systems. Cambridge University Press, Cambridge, 2003.

P. DIFRANCESCO, P. MATHIEU et D. SÉNÉCHAL, Conformal field theory, Springer Verlag, New York, 1997.

سرعة تأثرها هذه قد تساعد علماء الأعصاب على فهم بعض الاضطرابات الدماغية التي توهم الذات. ويقول «سيللي»: «من المستغرب أننا لا نغتر على تغيرات باثولوجية معينة لداء الزايمر أو أشكال الخرف الأخرى لدى الأنواع الحيوانية غير البشرية».

وحسب رأي «سيللي»، تتفق نتائج دراسات التصوير الدماغى الحديثة عن الذات مع نتائج ونتائج غيره على المصابين بداء الزايمر وأنواع الخرف الأخرى. فالمصابون بداء الزايمر تتكون لديهم بروتينات متشابكة tangled في عصبوناتهم. ويعد الحصين والظِّل بعض أولى المناطق المتضررة بذلك، وهما من الباحات الدماغية التي تشارك في ذكريات السيرة الذاتية autobiography. ويقول «سيللي» في هذا الصدد: «إنهما تساعدانك على استحضار صور ماضيك ومستقبلك إلى العقل وتقلعان بها. ويكون المصابون بداء الزايمر أقل مقدرة على الانتقال إلى الامام والخلف عبر الزمن بشكل سلس».

كم هو مفتح لأفراد الأسرة رؤية محبوبهم عسى تسلم لداء الزايمر، وهناك أنواع أخرى من الخرف قد تكون ذات تأثيرات أشد عنفاً على الذات. ففي حالة تعرف بالخرف الجبهي الصدغي frontotemporal dementia تتنكس قطاعات من الفصين الجبهي والصدغي. وفي كثير من الحالات يُصيب التلف القشرة المخية أمام الجبهة الوسطى. وحين يبدأ هذا المرض يبطش بشبكة الذات يبدأ المرء يعاني تغيرات غريبة في شخصيته. وفي مجلة علم الأعصاب Neurology لعام

2001، وصف «سيللي» وآخرون معه مريضة كانت تجمع المجوهرات والكريستالات الراقية فترة طويلة من عمرها قبل أن تبدأ فجأة بجمع حيوانات محنطة يوم بلغت سن الثانية والستين. ومع أنها محافظة conservative، فقد بدأت تؤنب الناس الذين يشتررون الكتب ذات الصبغة المحافظة في دور البيع وأعلنت أن: «الجمهوريين يجب استئصالهم من البسيطة». وثمة مرضى تحولوا عن دينهم

فجأة إلى أديان جديدة أو استحوذهم وسواس الرسم أو التصوير. ولكن هؤلاء المرضى لا يدرون لماذا لم يعودوا يحتفظون بذواتهم القديمة. ويقول «سيللي» في هذا الصدد: «إنهم يقولون أشياء سطحية جداً (مثل: هذا ما أنا عليه الآن وكفى)». ونشير إلى أن الخرف الجبهي الصدغي يمكن أن يقود إلى الموت خلال سنوات قليلة.

يعتقد «M. كازانيكا» [مدير مركز دارتموث للعلوم العصبية المعرفية وعضو المجلس الرئاسي حول الأخلاقيات البيولوجية] أن حل لغز الذات قد يطرح نوعاً جديداً من التحدي الأخلاقي. فهو يقول: «أظن أن ثمة مساراً سيتمثل في تفصيل دارات الذات إلى: الذاكرة المرجعية للذات self-referential memory، وتوصيف الذات self-description، والشخصية personality، وإدراك الذات self-awareness، وأن ثمة مساراً سيتمثل في الحس بما يجب أن يكون مناسباً لجعل الذات ناشطة».

ويؤجى «كازانيكا» بأن الأمر قد يصل إلى إمكانية أن يستطيع المسح الدماغى ذات يوم أن يحدد ما إذا كان داء الزايمر (أو بعض أنواع الخرف الأخرى) قد أتلّف الذات لدى المصاب به، ويتساءل «كازانيكا» عما إذا كان الناس

سينبدون أخذ موضوع ضياع الذات loss of the self بعين الاعتبار حين يكتبون وصية المات أثناء حياتهم. ويتنبأ «كازانيكا» قائلاً: «ستظهر تعاليم جديدة. وستكون القضية فيما إذا كنت ستوفر الرعاية الصحية لهؤلاء. فإذا أصيب الناس بمرض ذات الرئة، هل ستعطيه مصادات (مصادات) حيوية أم تتركهم يرحلون؟» أما «سيللي» فيقدم نبوءة محافظة أكثر، إذ يجادل بأن المسح الدماغى يحد ذاته قد لا يغير عقول الناس بخصوص ما يتخذونه من قرارات حول الحياة والموت. فهو يعتقد بأن القيمة الحقيقية لعلم الذات ستظهر في معالجات داء الزايمر وأشكال الخرف الأخرى. ويقول في هذا الصدد: «يوم نعرف المناطق الدماغية التي تضطلع بتمثيل الذات، أظن أننا سوف نلم بنظرة أكثر قرباً في تحديد الخلايا ذات الأهمية في تلك المنطقة الدماغية، ومن ثم نعلم النظر باتجاه الجزيئات داخل الخلايا وباتجاه الجينات التي تحكم تلك الجزيئات وصولاً إلى سرعة القائر vulnerability هذه. وإذا ما حققنا ذلك نكون قد اقتربنا أكثر فأكثر من معرفة آليات هذا الداء وعلاجه، وذلك هو أفضل سبب لدراسة كل هذا. إن الأمر لا يقتصر على مجرد تبصير الفلاسفة».

المؤلف

Carl Zimmer

صحفي يقيم في كونكتيكت. وقد جرى نشر أحدث كتبه مؤخراً تحت عنوان: «Soul Made Flesh»: اكتشاف الدماغ وكيف غير العالم».

مراجع للاستزادة

A Self Less Ordinary: The Medial Prefrontal Cortex and You. C. Neil Macrae, Todd F. Heatherton and William M. Kelley in *Cognitive Neurosciences III*. Edited by Michael S. Gazzaniga. MIT Press, 2004.

Is Self Special? A Critical Review of Evidence from Experimental Psychology and Cognitive Neuroscience. Seth J. Gillihan and Martha J. Farah in *Psychological Bulletin*, Vol. 131, No. 1, pages 76-97; January 2005.

The Lost Self: Pathologies of the Brain and Identity. Edited by Todd E. Feinberg and Julian Paul Keenan. Oxford University Press, 2005.

Conflict and Habit: A Social Cognitive Neuroscience Approach to the Self. Matthew D. Lieberman and Naomi J. Eisenberger in *Psychological Perspectives on Self and Identity*, Vol. 4. Edited by A. Tesser, J. V. Wood and D. A. Stapel. American Psychological Association (in press). Available online at www.scn.ucla.edu/pdf/rt4053_c004Lieberman.pdf

مسرعات بلازمية^(*)

طريقة جديدة لتسريع الجسيمات، تعد بإطلاق عدد كبير من التطبيقات. وفي هذه الطريقة «تركب» الجسيمات متن موجة من البلازما.

<Ch>. جوشي

تتضاعف عشر مرات كل عقد من الزمن، فهل سيستمر هذا التقدم؟ ربما تكون الآلات المعتمدة على الموجات الميكروية قد اقتربت من حدود ما هو مُجد تقنيا واقتصاديا. لقد ألغى الكونكرس عام 1993 مشروع المصادم الفائق ذي الموصلية (الناقلية) الفائقة Superconducting Super Collider project الذي تبلغ تكلفته 8 بلايين دولار، وهو المسرع الذي يبلغ قطره 28 كيلومترا، والذي يُفترض أن تكون استطاعته ضعف استطاعة المسرع LHC. ويأمل العديد من فيزيائيي الجسيمات الآن أن يلي المسرع LHC مصادم خطي طوله 30 كيلومترا، لكن ليس هناك من أحد يستطيع أن يتنبأ بأن هذا المصادم، الذي تبلغ تكلفته عدة بلايين من الدولارات، سوف يكون أوفر حظا من المصادم الفائق.

وربما تكون الطرائق الجديدة لتسريع الجسيمات، والتي تستخدم الحالة الرابعة من حالات المادة (بعد الحالات الصلبة والسائلة والغازية)، والتي تدعى بلازما^(**)، قد أتت في الوقت المناسب مبشرة بالنجاح في تحقيق مسرع للفيزياء عند أعلى الطاقات (100 بليون إلكترون فولت وأكثر). ويمكن لهذه الطريقة المعتمدة على البلازما أن تُنقّص حجم مثل هذا المسرع وتكلفته بقدر مدهل.

ليست المسرعات العملاقة، العاملة بالقرب من الحدود العليا للطاقة التي تتطلبها الأبحاث الفيزيائية، سوى جزء من الحكاية. إذ تُستخدم، إضافة إلى هذه المسرعات، آلات أصغر منها في علم المواد، البيولوجيا البنيوية، الطب النووي، أبحاث الاندماج، تعقيم الأطعمة، المعالجة التحويلية للنفايات

الفرنسية السويسرية. وبعد استكمال بناء هذا المصادم عام 2007، يجب أن تُخبرنا تصادمات حزمتيه البروتونيتين، وطاقته كل منهما 7 تريليونات إلكترون فولت (7 TeV)، بما يعطي الجسيمات كُتَلًا [انظر: «الغاز الكتلة» العلوم، العدد 12 (2005)، ص 12]. وتحاول آلات أخرى، قيد العمل حاليا، توضيح سبب احتواء الكون من المادة أكثر مما يحوي من المادة المضادة، وتعطينا تلك الآلات لمحة عن حالة المادة البدائية المدعوة بلازما الكواركات والكلونات quark-gluon plasma. إن جميع هذه المصادمات تقوم على تقانة قديمة ضخمة الحجم عمرها عشرات السنين، وتُسرع الجسيمات فيها بالموجات الميكروية.

وخلال الأعوام الخمسة والسبعين الماضية أدت هذه الآلات وأسلافها إلى اكتشافات مهمة حول طبيعة الجسيمات الأساسية وحول سلوك المادة النووية. وجعل التقدم في علم مسرعات الجسيمات وهندستها ذلك السيل من الاكتشافات ممكنا، بتمكينه العلماء من بناء آلات ذات طاقة

يستخدم الفيزيائيون مسرعات الجسيمات particle accelerators للإجابة عن بعض أكثر الأسئلة عمقا حول طبيعة الكون. وهذه الآلات الضخمة تسرع الجسيمات المشحونة لتبلغ سرعة الضوء تقريبا، ثم تُصادمها بعنف معا معيدة بذلك خلق الشروط التي كانت موجودة حين ولد الكون بعنف فجأة في الانفجار الأعظم big bang. ويأمل الفيزيائيون، من تحليل الحطام الناتج من التصادمات، أن يفهموا كيف أن القوى والجسيمات الموجودة في كوننا، والتي تبدو متباينة، مترابطة جميعا، وأنها توصف بنظرية موحدة، لكن، من سوء الطالع، كلما اقترب الفيزيائيون من حل لغز الخلق هذا أكثر، احتاجوا إلى مسرعات ذات استطاعة (وتكلفة) أكبر.

إن أضخم مسرعات الجسيمات هو المصادم الهادروني الكبير Large Hadron Collider (LHC) ذو القطر البالغ 8.6 كيلومتر، والذي يجري بناؤه حاليا في المختبر الأوروبي لفيزياء الجسيمات CERN على الحدود

نظرة إجمالية/ ركوب متن البلازما^(***)

- استخدمت مصادمات الجسيمات على مدى عقود فجوات الموجات الميكروية لدفع حزم الجسيمات إلى سرعة الضوء تقريبا. إن ذلك النهج، ممثلا بالمصادم الهادروني الكبير LHC الذي يبلغ قطره 8.6 كيلومتر يوشك أن يبلغ حدوده التقنية والاقتصادية.
- تعد تقنية جديدة، تكتسب فيها الإلكترونات أو البوزترونات الطاقة بركوبها متن موجة في غاز متاين، أي في بلازما، باختزال حجم وتكلفة هذه المسرعات العالية الطاقة التي يستخدمها فيزيائيو الجسيمات لدراسة مسائل من قبيل أصل الكتلة في الكون. لكن هذه التقنية لم تُستعرض حتى الآن إلا في تجارب مختبرية صغيرة.
- سوف تمكن الآلات البلازمية أيضا من بناء مسرعات يمكن وضعها على الطاولة، واستخدامها في مجال واسع من التطبيقات ذات الطاقة المنخفضة، ومنها علم المواد والبيولوجيا البنيوية والطب النووي وتعقيم الأطعمة.

ليست المسرعات التي يمكن وضعها على الطاولة، والتي تُنتج حزم إلكترونات في مجال الطاقة بين 100 و 200 ميكا إلكترون فولت (MeV)، سوى أحد أنواع الآلات التي يمكن صنعها بواسطة التسريع البلازمي.

النوية، معالجة بعض أنواع السرطان. إن هذه الآلات الصغرى تُنتج حزم إلكترونات أو بروتونات ذات طاقة منخفضة نسبياً، في مجال الـ 100 مليون إلى بليون إلكترون فولت، لكنها مازالت تحتل حيزاً كبيراً في المختبرات. أما المسرعات البلازمية المتراصة جداً، أو «مسرعات سطح الطاولة»، فتُبشّر بتوفير حزم إلكترونات في مجال الطاقة المذكور.

الموجات الميكروية مقابل البلازما^(١)

قبل أن أشرح التقنية الجديدة، من المفيد مراجعة بعض أسس المسرعات. تُصنّف المسرعات في بضعة أصناف واسعة فقط: فهي، أولاً، تُسرّع إما الجسيمات الخفيفة (الإلكترونات والبوزترونات)، أو الجسيمات الأثقل (مثل البروتونات والبيوتونات المضادة). وثانياً، يمكن أن تُسرّع الجسيمات في مرور واحد على طول خط مستقيم، أو في مدارات عديدة حول حلقة مستديرة. إن المسرع LHC، على سبيل المثال، هو حلقة تتصادم فيها حزمتان من البروتونات، أما المصادم الذي يأمل الفيزيائيون ببناءه بعد المسرع LHC، فسيكون مصادماً خطياً للإلكترونات والبوزترونات. وستكون الطاقة عند نقطة التصادم في البداية بجوار نصف تريليون إلكترون فولت. عند هذه الطاقة، يجب أن تسرع الإلكترونات والبيوترونات على خط مستقيم، لأن تسريعها في حلقة يسبب ضياعاً زائدا للطاقة ينجم عن عملية تدعى الإشعاع السنكروتروني^(٢) synchrotron radiation. إن التسريع الخطي للإلكترونات والبوزترونات هو أكثر ما يناسب المسرعات المعتمدة على البلازما.

يسرّع المصادم العادي الجسيمات بواسطة حقل كهربائي يتحرك متزامناً مع الجسيمات. وتولّد بنية تدعى تجويف الموجة البطيئة slow wave cavity (وهي أنبوب معدني فيه حدقات متوضعة بفواصل متساوية) الحقل الكهربائي المستخدم لإشعاع موجات ميكروية شديدة. لكن استخدام البنية المعدنية يحد من شدة حقل التسريع التي يمكن بلوغها. فعند حقل تراوح

لا تبدو الحزم الليزرية وحزم الجسيمات المشحونة، أول وهلة، ملائمة تماماً لتسريع الجسيمات. فمع أن حقولها الكهربائية شديدة جداً، فإن تلك الحقول في الغالب متعامدة مع اتجاه الانتشار. وكما يكون

شدته بين 20 و 50 مليون فولت في المتر، يحدث انهيار كهربائي، أي يقفز الشرر وينفجر التيار من جدران التجويف. ونظراً إلى أن الحقل الكهربائي يجب أن يكون أضعف من عتبة الانهيار، فتمتد حاجة إلى مسار تسريع طويل

تعد المسرعات البلازمية التي توضع على الطاولة بتوفير حزم إلكترونات للتطبيقات المنخفضة الطاقة.

الحقل الكهربائي في المسرع فعالاً، يجب أن يكون اتجاهه باتجاه حركة الجسيم. يدعى مثل هذا الحقل طولياً. ومن حسن الطالع، حين تُرسل حزمة ليزرية أو حزمة جسيمات مشحونة عبر البلازما، يمكن أن يحدث التأثير معها حقلاً كهربائياً طولياً.

للتوصل إلى طاقة معينة. على سبيل المثال، تحتاج حزمة التريليون فولت إلى مسرع طوله 30 كيلومتراً. لذا، إذا تمكنا من تسريع الجسيمات بمعدل يفوق كثيراً ما تسمح به حدود الانهيار الكهربائي، أمكننا جعل المسرع أصغر حجماً. وهنا يأتي دور البلازما.

في المسرع البلازمي، تقوم البلازما، وهي غاز مُتأين، بدور بنية التسريع. ويصبح الانهيار الكهربائي جزءاً من التصميم، بدلاً من أن يكون مشكلة؛ لأن البداية تكون بتأين الغاز. أما مصدر الطاقة هنا، فهو ليس موجات ميكروية، بل حزمة ليزرية أو حزمة جسيمات مشحونة.

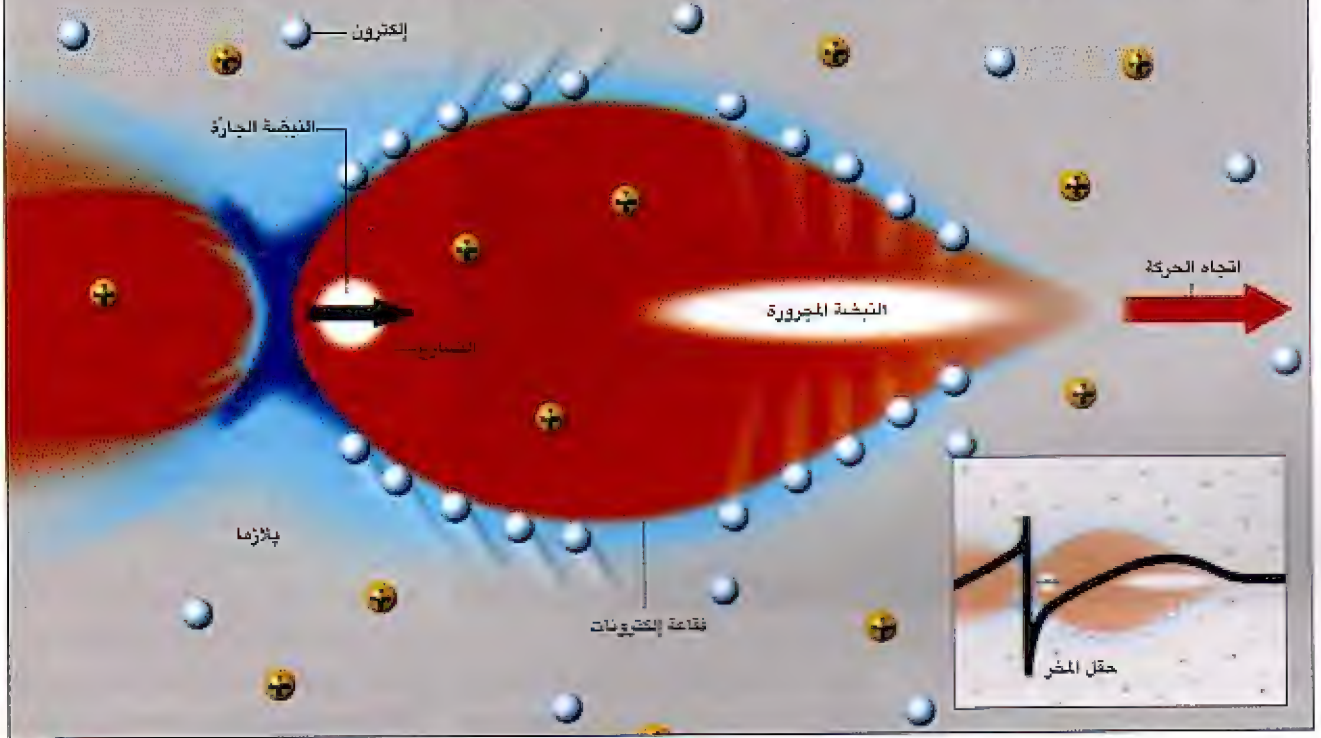
(١) Microwaves vs. Plasma

(٢) synchrotron، أي المسرع المتزامن، وهو مسرع له شكل حلقة وتُحقن فيه جسيمات تأتي من مسرع خطي. يُراد في هذا المسرع تردد جهد التسريع وشدة الحقل المغنطيسي متزامنين معاً لإبقاء نصف قطر مدار الجسيمات ثابتاً أثناء التسريع. لذا تُعد المتزامن. أما الإشعاع السنكروتروني فهو الإشعاع الكهرمغنطيسي الذي تصدره الجسيمات المسرعة، والذي تزداد طاقته مع ازدياد سرعتها. (التحرير)

نظام الفقاعة^(١)

الجارة، مُشكّلة فقاعة إلكترونات حول المنطقة الموجبة. إن الحقل الكهربائي (مبين في الأسفل)، الممتد على المحور الذي تتقدم الحزمة عليه، يشابه انبثاق موجة بحر تدرجها شديد الانحدار. ويجعل حقل المُخَر هذا نبضةً مجرورة من الإلكترونات المنقطة بالقرب من مؤخرة الفقاعة تقع تحت تأثير تسارع شديد جدا متجه نحو الأمام.

يعتمد مسرّع حقل المُخَر على اضطراب شحنات، يُعرف بحقل المُخَر، لتوفير القوة الدافعة. إن النبضة الجارة، التي يمكن أن تكون نبضة قصيرة من ليزر أو من حزمة إلكترونات، تدفع الإلكترونات (الأزرق) في غاز متأين، أي في بلازما، نحو الخارج لتُخلّف وراءها منطقة موجية الشحنة (الأحمر). وتجذب الشحنة الموجبة إلكترونات ذات الشحنة السالبة فتعيدها إلى خلف النبضة



ذلك العمل الفذ دون لبس في عام 1993. ومنذ ذلك الحين كان التقدم في هذا المجال هائلا. وعلى وجه الخصوص، كانت ثمة نتائج مذهلة في تقنيتين تدعيان مسرّع حقل المُخَر^(٢) الليزري laser wakefield accelerator ومسرّع حقل المُخَر البلازمي plasma wakefield accelerator. ويبدو أن حقل المُخَر الليزري يَعد في الوصول إلى مسرّع صغير منخفض الطاقة، ويمتلك حقل المُخَر البلازمي إمكان إنتاج مصادم مستقبلي يعمل عند حدود الطاقة التي وصلت إليها فيزياء الجسيمات.

نبضات من الضوء^(٣)

أصبحت المسرّعات البلازمية الصغيرة ممكنة حاليا بفضل الليزرزات الشديدة التراصّة، فليزرزات التيتانيوم-سفير

موجة ذات حقل كهربائي تبلغ شدته عند الذروة 100 بليون فلتا في المتر. وهذه شدة تفوق بكثير من ألف مرة تدرج التسريع في مسرّع عادي يعمل بالموجات الميكروية. أما الصعوبة هنا فهي أن طول الموجة البلازمية يساوي 30 ميكرونا فقط، في حين أن طول الموجة الميكروية يبلغ نحو 10 سنتيمترات عادة. ومن الصعب جدا وضع حزمة من الإلكترونات في موجة بلازمية بهذا الصغر.

كان الراحل (M.J. Daouson) [من جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس] أول من اقترح في عام 1979 هذه الطريقة العامة لاستخدام البلازما في تسريع الجسيمات. وقد استغرق الأمر أكثر من عقد من الزمن قبل أن يُستعرض تجريبيا ركوب الإلكترونات متن موجات البلازما واكتسابها طاقة منها. وقد وجب لتحقيق ذلك ترويض ثلاث تقانات مختلفة، هي البلازما والمسرّعات والليزرزات، وجعلها تعمل معا. وقد انجزت مجموعتي في جامعة كاليفورنيا بلوس أنجلوس

تسير العملية بالطريقة التالية: البلازما بجمليتها معتدلة كهربائيا، لأنها تحوي كميتين متساويتين من الشحنة السالبة (الإلكترونات) والشحنة الموجبة (الأيونات). لكن نبضة من حزمة شديدة من الليزر أو الجسيمات تولّد اضطرابا في البلازما. إذ تدفع الحزمة إلكترونات الخفيفة بعيدا عن الأيونات الموجبة الثقيلة، التي تتخلف بدورها، وهذا ما يحدث منطقة ذات زيادة في الشحنات الموجبة، ومنطقة ذات زيادة في الشحنات السالبة [انظر الإطار في هذه الصفحة]. ويشكّل الاضطراب موجة ترحل عبر البلازما بسرعة الضوء تقريبا. ويعمل الحقل الكهربائي الشديد المتجه من المنطقة الموجبة إلى المنطقة السالبة على تسريع أي جسيم مشحون يمكن أن يكون تحت تأثيره. يمكن أن يوفر الوسط البلازمي حقول تسريع كهربائية ذات شدة مذهلة. إذ يمكن لبلازما تحوي 10^{18} إلكترونات في السنتيمتر المكعب (وهذا عدد ليس استثنائيا) أن تولّد

مسرّع حقل المخّر الليزري¹¹

تبيّن حزم الإلكترونات (الستيليان في اليمين)، التي ولّدها أول مسرّع يوضع على الطاولة في مختبر البصريات التطبيقية بالمدرسة التقنية في فرنسا، كيف أمكن التغلب على أحد العوائق الرئيسية، فمع أن بعض الإلكترونات قد سرّعت إلى 100 جيجا إلكترون فولت باستخدام التقنية العادية (هذه العبارة ليست في النص الأصلي، لكن المؤلف يفترض ضمنا استخدام التقنية العادية، لذا أدرجتها لإزالة الغموض، المراجع)، فقد توزعت طاقتها نزولا حتى 5 إلكترون فولت [a]، وتباعدت زاوية الحزمة أيضا بنحو درجة كاملة. خلافا لذلك، أظهرت تلك [b]، التي حصل عليها من نظام «الفقاعة» المكتشف حديثا، حزمة إلكترونات طاقتها جميعا متساوية، وتبلغ نحو 180 جيجا إلكترون فولت. أما زاوية تباعد الحزمة، فهي أصغر بكثير [a]. إن مثل هذه الحزمة فوائد تطبيقية كثيرة.



منها باستمرار، وتؤسّر بعض إلكترونات البلازما نفسها أيضا وتسرّع بهذه الطريقة، على غرار النقاط موجة البحر زبد الماء.

وفي عام 2002، بين «v» مالكاء ومجموعته في مختبر المدرسة التقنية للبصريات التطبيقية Ecole Polytechnique's Laboratory of Applied Optics في فرنسا أنه أمكن توليد حزمة تحوي 10^8 إلكترونات باستخدام حقل مخّر يسير ليزر، وكانت الحزمة متجمّعة تجمعا جيدا، أي مبرّاة بدقّة. لكن، من سوء الطالع، توزّعت طاقات الإلكترونات المسرّعة على مجال واسع امتد من واحد إلى 200 مليون إلكترون فولت، في حين أن معظم التطبيقات تتطلب حزمة إلكترونات جميعا الطاقة نفسها.

إن سبب هذا الاتساع في مجال طاقة الإلكترونات هو أن موجة حقل المخّر التقطت الإلكترونات في مواضع مختلفة وفي أزمنة مختلفة. أما في المسرّع العادي، فتتحقّق الجسيمات التي يراد تسريعها في مكان واحد بالقرب من ذروة الحقل الكهربائي. وقد ظن الباحثون أن مثل هذا الحقن الدقيق مستحيل في مسرّع حقل المخّر الليزري، لأن بنية التسريع صغيرة جدا وقصيرة العمر.

تشكّل الإلكترونات في الواقع بنية تشبه الفقاعة، وبالقرب من مقدمة الفقاعة هناك نبضة الليزر التي تولّد البلازما، وفي داخل الفقاعة هناك أيونات البلازما، وهذه البنية الفقاعية شديدة الضائقة، إذ يبلغ قطرها نحو 10 ميكرونات، ويشبه الحقل الكهربائي في الفقاعة موجة البحر، لكن تدرّجه من ذروة الموجة إلى قعرها أشد انحدارا بكثير، ومع أن بنى أخرى ممكنة أيضا، يبدو أن استخدام نظام الفقاعة هو أفضل طريقة لتسريع الإلكترونات.

إذا حقن جهاز، من قبيل المدفع الإلكتروني، إلكترونات خارجيا قريبا من مكان فيه حشد كبير من الإلكترونات في البلازما، خضع الجسيم الجديد إلى حقل كهربائي يجذبه نحو الشحنات الموجبة داخل الفقاعة. إن الموجة تتحرك بسرعة الضوء، لذا يجب أن تكون سرعة حقن الإلكترون قريبة من هذه السرعة كي يلحق الموجة ويكتسب طاقة منها. لكننا نعلم، من نظرية النسبية، أن أي زيادة في طاقة الإلكترون تتجلى في معظمها لزيادة في كتلة الجسيم، لا في سرعته. لذا، فإن الإلكترون لا يجاري موجة البلازما مجاراة ذات شأن، بل يركب متنها، ويكتسب طاقة

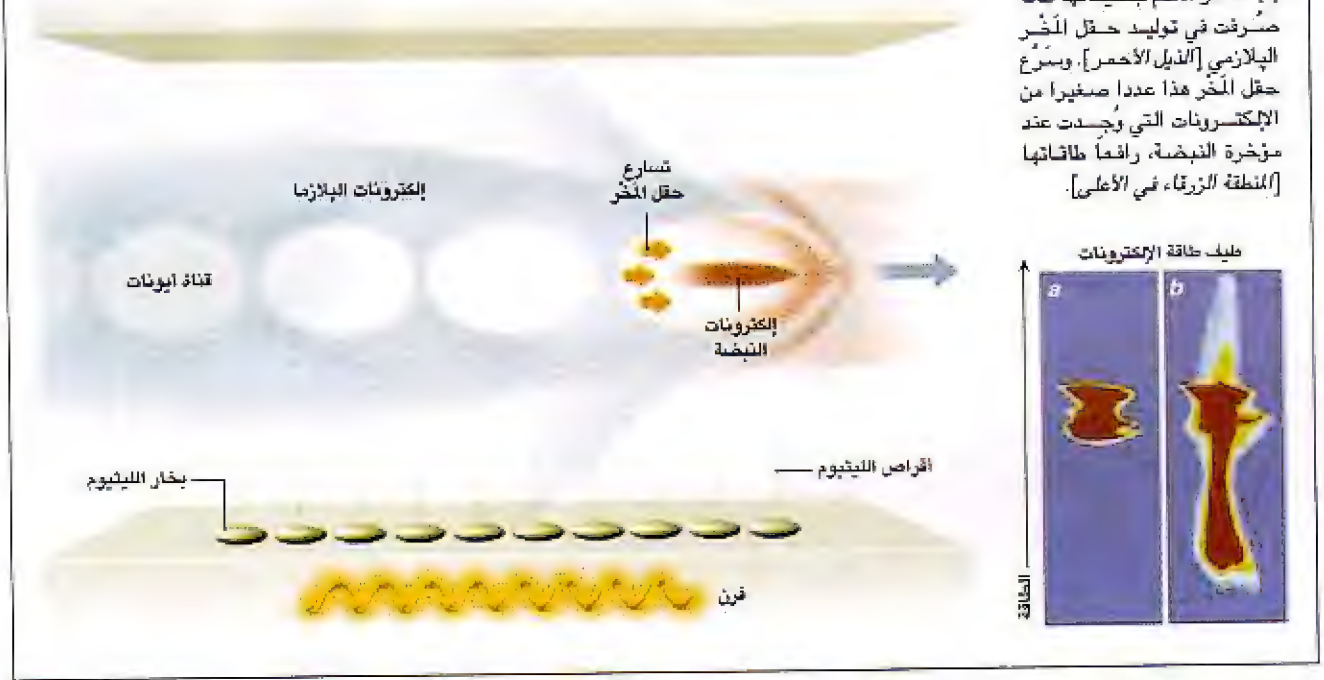
Titanium-Sapphire، التي تستطيع توليد استطاعة مقدارها 10 تيراواط (تريليون واط) في نبضات بالغة القصر، يمكن أن توضع الآن على سطح طاولة كبيرة [انظر: «ضوء بالغ الشدة»، القلم، العدد 1 (2003)، ص 56].

في المسرّع البلازمي، الذي يغذي بالطاقة الليزرية، تُركّز نبضة ليزرية بالغة القصر داخل نقطة من الهليوم طولها نحو سيمتريين، وتفصل النبضة فوراً إلكترونات الغاز مولدة البلازما. أما ضغط إشعاع طاقة الليزر، فهو كبير بقدر يجعل الإلكترونات التي هي أخف كثيرا من الأيونات، تُقذف في جميع الاتجاهات مخلّقة وراءها الأيونات الباقية. ولا تستطيع هذه الإلكترونات الابتعاد كثيرا، لأن الأيونات تجذبها إلى الداخل. وحين تصل إلى المحور، الذي تسير عليه نبضة الليزر، تتجاوزها، وينتهي بها الأمر إلى الابتعاد عنه نحو الخارج من جديد، مولدة بذلك اهتزازا يشبه الموجة [انظر الإطار في الصفحة المقابلة]. يدعى هذا الاهتزاز حقل المخّر الليزري لأنه يقتفي نبضة الليزر كاختفاء المخّر لقارب ذي محرك على سطح الماء.

الحرق البلازمي اللاحق^(*)

جرى أخيراً عرض للتسريع بحقل المُخَرِّ البلازمي في تجربة استُخدمت فيها حزمة من مُصادم ستانفورد الخطي. فقد أضاف المسرع طاقةً مقدارها 4 جيجا إلكترون فولت إلى حزمة إلكترونات في 10 سنتيمترات فقط، وهذا كسب في الطاقة كان سيتطلب مقطعاً طوله 200 متر في مسرع عادي يعمل بالموجات الميكروية. في هذه التجربة، بَحَرَّ فرن اقراص من الليثيوم. وأُيِّت نبضة إلكترونات شديدة [الأحمر] البخار فأنتجت البلازما. ودفعت النبضة إلكترونات البلازما [الأزرق] التي شكلت حينئذ حقل مُخَرِّ، أو اضطراباً في الشحنة، خلف النبضة. وخضعت الإلكترونات الواقعة في حقل المُخَرِّ ذاك إلى تسريع شديد [الأسهم البرتقالية].

في غياب الليثيوم [a]، تساوت طاقات جميع إلكترونات حزمة المُصادم SLAC، التي تساوي طاقتها 30 جيجا إلكترون فولت [الطاقة ممتدة بالمحور الشافولي]. وبعد عبور الحزمة مسافة 10 سنتيمترات في بلازما الليثيوم [b]، خسر معظم جسيماتها طاقة صُرِّفت في توليد حقل المُخَرِّ البلازمي [الذي بالأحمر]. وسرَّع حقل المُخَرِّ هذا عدداً صغيراً من الإلكترونات التي وُجدت عند مؤخرة النبضة، رافعاً طاقتها [المنطقة الزرقاء في الأعلى].



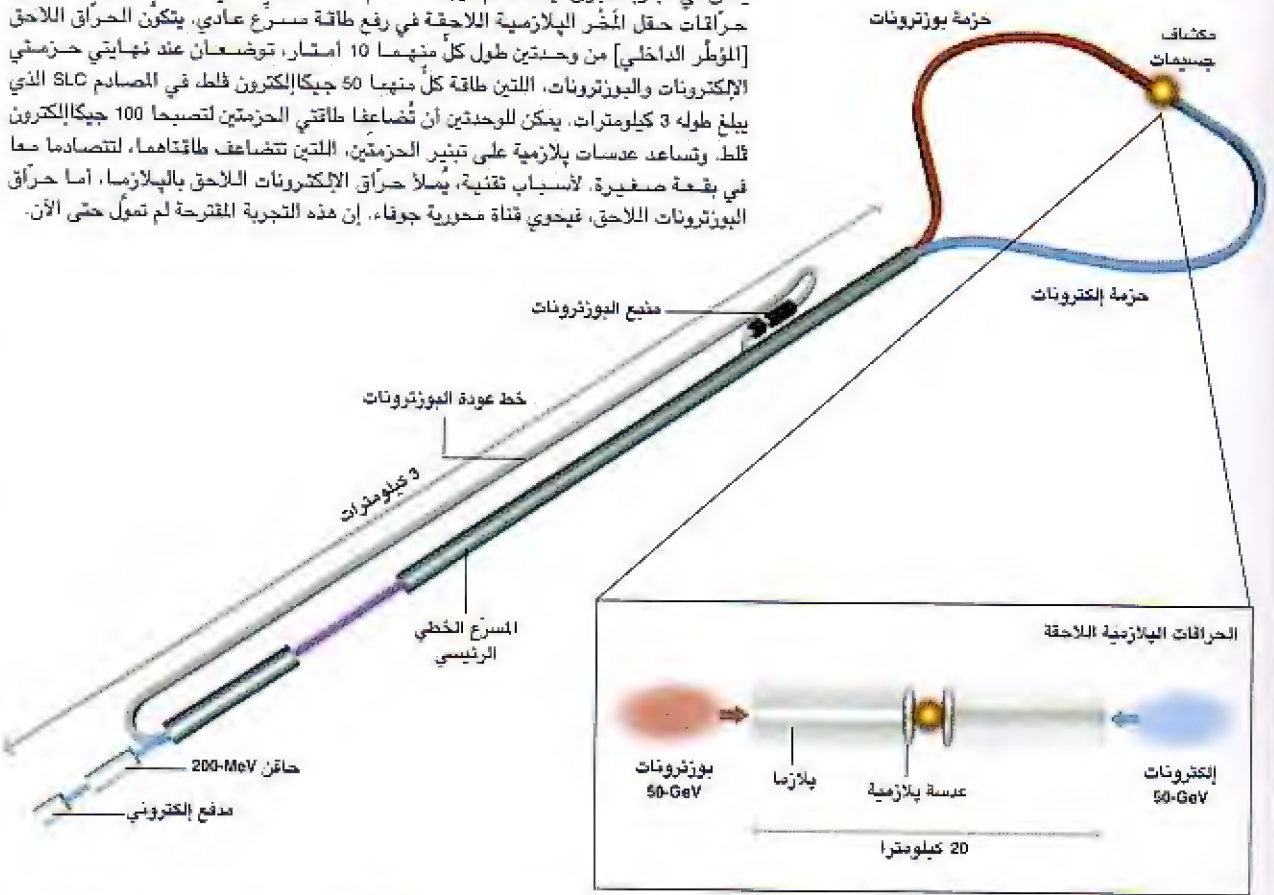
التي تولِّدها مسرَّعات توضع على الطاولة. كيف يمكن للمرء زيادة طاقة حزمة الإلكترونات لتحقيق مسرَّع حقل مُخَرِّ ليزري ذي استطاعة تساوي بليون إلكترون فولت؟ إن الأمر يحتاج إلى توليد موجة بلازمية تستمر مسافة تبلغ نحو سنتيمتر بدلاً من مليمترين فقط. لذا يجب إبقاء الحزمة الليزرية المهيجة للموجة شديدة في البلازما مدة أطول، وتحقيق ذلك بتسييرها ضمن ما يسمى الليف البلازمي plasma fiber. إن إحدى الطرائق الواعدة، على وجه الخصوص، هي استخدام ليف بلازمي مشكَّل لهذا الغرض، وهذا ما يستقصيه باحثون في المختبر Lawrence Berkeley National Laboratory. في هذه الطريقة، تكون كثافة الإلكترونات على طول محور البلازما منخفضة، وهذا ما يجعل قرينة انكسار القناة البلازمية على طول المحور أعلى مما هي عند الأطراف، وهو

والنتيجة هي حزمة إلكترونات ذات مجال طاقة ضيق. ففي تجارب «مالكا»، على سبيل المثال، انخفض عرض مجال الطاقة إلى العُشر، مع وجود ما يصل إلى 10^9 إلكترونات في الحزمة. وكان عرض حزمة الإلكترونات الزاوي أضيق بكثير أيضاً مما كان في التجارب السابقة، مضاهياً عرض أفضل الحزم التي تنتجها المسرَّعات الخطية العادية القائمة على الموجات الميكروية. وكان طول حزمة الإلكترونات الناتجة (وهي في الواقع نبضة) 10 فمتوثوان (10^{-14} ثانية) فقط، وهي أقصر نبضة أنتجها مسرَّع حتى الآن، وهذا ما يُغري باستخدامها لتكون مصدر إشعاع محتملاً لفصل العمليات الكيميائية والبيولوجية الفائقة السرعة. ويمكن أيضاً توجيه نبضة الإلكترونات نحو هدف معدني رقيق بغية إنتاج نبضة قصيرة من الأشعة السينية. وأتوقع (المؤلف) أن أرى في السنة أو السنتين المقبلتين تطبيقات للأشعة السينية

لكن مصادفة ميمونة أنقذت الموقف. فقد عثرت ثلاث مجموعات متنافسة، من الولايات المتحدة وفرنسا وبريطانيا، في الوقت نفسه من عام 2004 مصادفة على نظام فيزيائي جديد تحتشد فيه إلكترونات مأسورة ذاتياً في مجموعة واحدة، فتبلغ جميعاً مقدار الطاقة ذاته. لقد استُخدمت المجموعات الثلاث ليزرات ذات طاقة أعلى من ذي قبل، زادت على 10 تيراواط. وحين تنتشر مثل هذه النبضة الليزرية القوية عبر البلازما، تصبح أقصر وأضيق، فتخلق بذلك فقاعة إلكترونية كبيرة تأسر الإلكترونات من البلازما. وهذه الإلكترونات المأسورة ذاتياً كثيرة العدد إلى درجة أنها تَنزَع مقداراً كبيراً من طاقة المُخَرِّ، مؤدية إلى توقُّف أسر المزيد منها. وتسبق الإلكترونات ذات الطاقة العليا المُخَرِّ، فتفقد بذلك شيئاً من طاقتها، في حين أن الإلكترونات المتخلفة ذات الطاقة المنخفضة تستمر في اكتساب الطاقة.

تعزيز مسرع عادي⁽¹⁾

يمكن في تجربة كبرى، يُستخدم فيها مُصادم ستانفورد الخطي، عرضُ جدوى ما يسمى حُرّاقات حقل المُخَرِّج البلازمية اللاحقة في رفع طاقة مسرع عادي. يتكوّن الحُرّاق اللاحق [المُؤمَر الداخلي] من وحدتين طول كل منهما 10 أمتار، توضعان عند نهايتي حزمتي الإلكترونات والبوزيترونات، اللتين طاقة كل منهما 50 جيجا إلكترون فولت في المصادم SLC الذي يبلغ طوله 3 كيلومترات. يمكن للوحدتين أن تُضاعفا طاقتي الحزمتين لتصبحا 100 جيجا إلكترون فولت. ويساعد عدسات بلازمية على تثبيت الحزمتين، اللتين تتضاعف طاقتاهما، لتتصادما معا في بقعة صغيرة. لأسباب تقنية، يُضَلَّ حُرّاق الإلكترونات اللاحق بالبلازما، أما حُرّاق البوزيترونات اللاحق، فيحتوي قناة محورية جوفاء. إن هذه التجربة المقترحة لم تعمل حتى الآن.



فمتوثانية. وكما في مسرع حقل المُخَرِّج الليزري، وحين تركيز النبضة الجارة ضمن البلازما، تتولّد فقاعة حقل المُخَرِّج (على أن تكون الحزمة أكثر كثافة من البلازما). إن السيطرة هنا هي ذاتها كما في حالة حقل المُخَرِّج الليزري، باستثناء كون الحقل الكهربائي لحزمة الجسيمات هو الذي يقوم الآن بالدفع بدلا من ضغط إشعاع الحزمة الليزرية. وتغلّف فقاعة الإلكترونات الحزمة المجرورة التي تتسارع بمعدل عال بواسطة المركبة الطولية للحقل الكهربائي الناتج.

لقد أحدث مسرع حقل المُخَرِّج البلازمي قدرا كبيرا من الإثارة في أوساط الفيزيائيين العاملين في تقنيات التسريع المتقدمة، وجعلت ثلاثة إنجازات مهمة هذه الطريقة شديدة الإغراء. وقد حقّق تلك الإنجازات فريق من الباحثين الذين يعملون في جامعة

طاقيا صافيا مقداره عدة جيجا إلكترون فولت. يمثل هذا التصميم، الذي يُدعى ترتيبا على مراحل، الكيفية التي تُركّب بها مسرعات الموجات الميكروية بغية إنتاج طاقات عالية. لكن ترتيب المسرعات البلازمية على مراحل يعاني مشكلات شديدة التعقيد.

أما النهج البديل المفضل حاليا فهو ما يسمى الحُرّاق البلازمي اللاحق plasma afterburner، وفيه يُضاعف مسرع حقل مُخَرِّج بلازمي في مرحلة واحدة طاقة خرج مسرع عادي. في هذه الطريقة، يرفع المسرع العادي طاقة نبضتي إلكترونات أو بوزيترونات إلى عدة مئات من الجيجا إلكترون فولت. تحتوي النبضة الأولى (وتدعى النبضة الجارة) من الجسيمات ثلاثة أضعاف ما تحويه النبضة الثانية المجرورة. ويبلغ طول كل من النبضتين، الجارة والمجرورة، عادة 100 فمتوثانية، ويفصل بينهما نحو 100

الشرط المناسب كي تسلك القناة سلوك ليف ضوئي تسير الحزمة الليزرية ضمنه. وقد بيّنت تجارب بركلي أن مثل هذه القنوات تولّد حزم إلكترونات طاقة جميع الإلكترونات فيها متساوية. ويُتَوَقَّع أن تُنتج تحسينات أخرى لهذه الطريقة أول مسرع بلازمي صغير من صنف الجيجا إلكترون فولت في المستقبل القريب جدا.

الارتقاء إلى حدود الطاقة العليا⁽²⁾

كيف يمكن توسيع هذه المسرعات البلازمية العاملة بالليزر والسنتيمترية الأنواع لتولّد طاقات في مجال التيرا إلكترون فولت (10^{12} eV) المهم لفيزيائيي الجسيمات؟ إن إحدى طرائق تحقيق ذلك هي وضع مئات من وحدات التسريع البلازمية المترابطة في سلسلة واحدة معا بحيث توفر كل منها ربحا

الذكاء الوجداني^(١)

إن الذكاء ليس مجرد «نسبة ذكاء» *IQ* المرء، إذ إنه يقوم أيضا على ملكة إدراك الحالات الوجدانية لديه ولدى الآخرين وتفسيرها، وعلى معرفة كيفية التعبير عن هذه الحالات الوجدانية وإدارتها.

<D> كيوال - <P> سالوبي

تدبير أدوات لقياسه.

تجدد الاهتمام بموضوع الانفعالات^(٢)

يشكل مفهوم الذكاء الوجداني، في تاريخ علم النفس، مرحلة مهمة في فهم العلاقات بين العقل والهوى *passion*. وقد رأى الرواقيون اليونان والرومان^(٣) أن الانفعالات هي من الشدة والبعد عن إمكانية التنبؤ بها إلى حد تصبح معه غير مفيدة للتفكير العقلاني. وكانت الانفعالات في تصورهم مرتبطة بالنساء، ومن ثم فهي تميز الجوانب الضعيفة والدنيا من الإنسان. والقالب النمطي الذي يرى أن النساء قابلات للانفعال أكثر من الرجال لا يزال مستمرا إلى اليوم. ومع أن تيارات متنوعة من الفكر، وبخاصة تيار الرومانتيكية^(٤)، قد أعلنت من قيمة الانفعالات، فإن الرؤية الرواقية للطابع اللاعقلي للانفعالات قد استمرت مؤثرة حتى القرن العشرين. ومع ذلك، فإن تطور علم النفس إبان القرن الماضي قد قلب رأسا على عقب مفاهيم عديدة. فقد قدمت للذكاء تعريفات أوسع مما سبق، كما نجحت أفاق جديدة بشأن العلاقات بين العواطف والفكر. ومنذ الأعوام 1930، اقترح عالم القياس النفسي «J. ثورندايك» أن الأفراد لهم ذكاء

منذ نحو عشر سنوات، يشهد مفهوم «الذكاء الوجداني» نجاحا متزايدا، فقد كُرس له العديد من المصنفات. وتُفجّر اهتمام أجهزة الإعلام بموضوع الذكاء الوجداني في عام 1995 مع نيل كتاب الصحفي العلمي «D. كولمان» «الذكاء الوجداني» *Emotional Intelligence* جائزة أكثر الكتب رواجاً. وقد كانت تلك الفترة بمثابة التربة الخصبة المثالية لتفتح مفهوم الذكاء الوجداني، حيث وضعت حينذاك موضع الشك الفكرة القائلة إن «نسبة الذكاء» *quotient intellectuel (QI)*^(٥)، الذي يقيس الذكاء التحليلي، هي العامل الرئيسي في النجاح الاجتماعي والمهني، وحتى العاطفي *sentimental*. وهنا ظهر «الذكاء الوجداني» لكي يكون ملاذا في مواجهة قدرية «نسبة الذكاء» التي تُعزى لكل فرد من الأفراد مرة واحدة وإلى الأبد.

ولم يكن الذكاء الوجداني مجرد بدعة عابرة، إذ إنه نثر اهتمام الجميع. وما لم يكن إلا ميدانا غامضا من ميادين البحث في علم النفس، ازدهر خلال سنوات قليلة. وأصبح الشعاع المرفوع هو: «تدرب على [تحسين] نسبته الوجدانية *quotient (QE) émotionnel*». ومع ذلك، فقد قوبل مفهوم الذكاء الوجداني بانتقادات بالغة من قبل المشتغلين بالبحث العلمي، حيث وجد عدد كبير منهم أن الذكاء الوجداني إنما يمثل كل سمة لا يستطيع اختبار نسبة الذكاء قياسها، ومنها على سبيل الأمثلة: الدافعية والثقة والتفاؤل أو «الخلق الطيب».

وعلى الرغم من هذا الاختلاط في الآراء، ظهر أن الذكاء الوجداني ميدان واعد من ميادين البحث، بل ظهر أكثر من هذا: إنه يمكن قياسه باعتباره مجموعة من الاستعدادات الذهنية. كما ساعدتنا الأبحاث المختلفة على فهم الدور الذي تؤديه المشاعر الوجدانية في حياتنا.

فماذا نعرف عن الذكاء الوجداني؟ لقد قادت أبحاث علماء النفس إلى أن يُعطى للذكاء الوجداني معنى أكثر تحديدا من معناه الرائج. ونحن نفضل أن نعرفه بأنه مجموعة نوعية من القدرات *capacités* ذات الصلة بتعرف المشاعر الوجدانية وإدارتها. وسوف نقدم هنا عرضا للتجارب التي أدت إلى إعداد نموذج للذكاء الوجداني وإلى

(١) هذه ترجمة للمقالة بعنوان: *L'intelligence émotionnelle*

وقد أثرت ترجمة العنوان «بالذكاء الوجداني» وليس «الانفعالي» تحديدا، لأن السياق في هذه المقالة يتعدى «الانفعال» بالمعنى الدقيق له (وهو استجابة شعورية تتميز بالاضطراب الحاد وتصاحبها تغيرات فيزيولوجية، تستمر عادة لفترة محدودة من الوقت، كما في حال الغضب أو الفرح)، إذ إن المقالة تتحدث مثلا عن السعادة وعن الملل وهما ليسا انفعالا بالمعنى الدقيق، كما تستخدم تعبيرات «العواطف» و«الحالات النفسية» و«الأحاسيس» وغيرها. وقد ترجمت بعض الكتابات العربية المصطلح أحيانا بـ «الذكاء العاطفي»، ولكن هذا بدوره لا يشمل على الانفعالات جميعها، أما الصفة «وجداني» فإنها تشمل تلك المشاعر جميعها. وقد نشرت هذه المقالة في عدد الشهر 2006/11 من مجلة *Pour la Science* الفرنسية، وهي إحدى أخوات *العلوم* الثماني عشرة التي تترجم مجلة *Scientific American*

La rencontre des émotions (١١)

(١) *QI* المقابل الفرنسي لـ *Intelligence quotient* نسبة الذكاء.

(٢) مدرسة فلسفية تقيم الأخلاق على العقل، وتقول بأن الخير الوحيد هو الفضيلة، وتدعو إلى قمع كل الأهواء.

(٣) مدرسة فنية أوروبية اهتمت بجانب الأحاسيس والعواطف لدى الإنسان مقابل الفكر.

(التحرير)



الشكل 1: إن الذكاء الوجداني هو وجه من أوجه المقدرات المعرفية، وهو يضم كفايات متصلة بالانفعالات، ومنها: تعرف الانفعالات (في هذا الشكل: الرعب)، وتحليلها، واستخدامها بطريقة إيجابية والنجاح في إدارتها.

[من جامعة أيوا] يثبتون أن الانفعال والعقل لا يتفصلان، وأنه في غياب الانفعالات قد لا تصير القرارات التي يتخذها الأفراد صائبة. غفي إحدى التجارب التي أجراها «داماسيو»، كان يُطلب إلى الأشخاص المختبرين أن يرفعوا مكاسبهم إلى حد ما الأقصى في لعبة تقوم على سحب مئة بطاقة على التعاقب من علَب مختلفة. وقد خلُطت البطاقات على نحو خاص، بحيث إن علبتين كانتا تحتويان على بطاقات تأتي بمكاسب عالية وعلى أخرى أيضا تتسبب في خسارات شديدة، وبحيث إن متوسط الخسارة في كل عشر بطاقات كان 250 يورو. أما العلَب الأخرى، ذات المخاطرة الأقل، فإنها كانت تحتوي على بطاقات ذات مكاسب ضئيلة وخسارات قليلة، بحيث إن متوسط المكسب في كل عشر بطاقات يسحبها الشخص كان 250 يورو.

وقد كان بعض الأشخاص المختبرين مرضى بإصابات في المنطقة قبل الأمامية للبطلين الأوسط من القشرة المخية *lésions du cortex cérébral ventromédian préfrontal*. والمرضى بهذا النوع من الإصابة يمارسون وظائفهم على نحو عادي، إلا أنهم غير قادرين على استخدام مشاعرهم الوجدانية عند اتخاذ القرارات. وأما الأشخاص المختبرون الآخرون فلم تكن بهم هذه الإصابات. ولم يكن بمقدور اللاعبين التنبؤ يقينا بأي العلَب هي الحاملة لمخاطرة أعظم،

(-) L'émotion, aide à la décision

اجتماعي، أي مقدرة على إدراك أحوالهم الباطنية ودوافعهم وسلوكهم لهم وللآخرين، وعلى التصرف بناء على هذا كله. ولكن هذا العالم أقر قيمة يعد أنه لا توجد إلا أدلة علمية قليلة على وجود ذكاء اجتماعي.

أشكال عديدة متميزة للذكاء، تم اقتراحها، ومنها «ذكاء العلاقات بين الأشخاص» *intelligence interpersonnelle*، وهو عظيم الشبه بمفهوم الذكاء الوجداني، ويمكن أن يسمح بالنظر إلى الانفعالات في مجموعها وبالتمييز بين العواطف، وبوضع تسميات لها، وإدراجها في قوائم رمزية، من أجل فهم سلوك المرء وقيادته.

فهل يكون الذكاء الوجداني، إذاً، مجرد اسم جديد للذكاء الاجتماعي أو لأشكال أخرى من الذكاء سبق تعريفها؟ إننا نفضل، بدلا من اعتبار الذكاء الوجداني شكلا للذكاء الاجتماعي، تضيق تعريف الذكاء الوجداني واعتبار أن معالجة الانفعالات والمعارف المرتبطة بالانفعالات تشكل نمطا خاصا من الذكاء. وبهذا يتركز تصور الذكاء الوجداني على موضوع الانفعالات *émotions*، التي تؤدي دورا ليس فقط في العلاقات الاجتماعية، وإنما كذلك في الحياة الشخصية.

الانفعال، عوننا على اتخاذ القرار⁽¹⁾

في الأعوام التي تلت عام 1990، كشفت الأبحاث عن وجود صلات بين التفكير العقلي والانفعالات. فالأفراد عندما يتخذون قراراتهم يعتمدون عموما على الحجج المنطقية وهم يواجهون الاختيارات التي تعرض عليهم. ولكن ها هو «أ. داماسيو» وزملاؤه

أسئلة الاختبار MSCEIT^(١)

ما الحالة الوجدانية التي يكون من المفيد الشعور بها عندما تلقي بعائلة زوجتك للمرة الأولى؟

نافعة	غير نافعة	1	2	3	4	5
ا. التوتر		1	2	3	4	5
ب. الاندهاش		1	2	3	4	5
ج. الفرح		1	2	3	4	5

فلان يشعر بالقلق وبشيء من الإجهاد النفسي حين يفكر في الأشخاص التي يبلى عليه أن ينجزها. وحين يكلفه رئيسه بمشروع إضافي، فإنه يحس بأنه:

ا. برهق ب. محبط ج. يغشاه الحزي د. مرتبك ه. عصبي جدا

بأي درجة من الحدة تلبس هذه الصورة العاطفتين التاليتين؟

ا. الفرح	1	2	3	4	5
ب. الحزن	1	2	3	4	5



إن الشعور بالاحتقار يمزج مزجا وثيقا جدا بين:

- ا. الاندهاش والقلق
- ب. القلق والخوف
- ج. الغم والخوف
- د. القزقز والقلق
- ه. الكره والشعور بالذنب

ولكن، إذا كان إدراك الانفعالات أمرا مشتركا بين جميع البشر، إلا أنه يتفاوت ما بين فرد وآخر. وقد أثبت <S> بولاك <من جامعة وسكونسن - ماديسون> أن سوء المعاملة يمكن أن يخل بمقدرة الأطفال على إدراك تعبيرات الوجود. فعلى شاشة حاسوب، عرض <بولاك> على أطفال تتراوح أعمارهم ما بين الثامنة والعاشر، وكان منهم من أسيئت معاملته وآخرون لم تُسأ معاملتهم، صورا لوجوه سعيدة وأخرى خائفة أو حزينة أو غاضبة، منتقلا على التدرج من انفعال إلى آخر. أما الأطفال الذين أسيئت معاملتهم فإنهم على الأغلب وجدوا أكثر من غيرهم أن وجهها ما يعبر عن الغضب، حتى عندما لا يكون التعبير ظاهرا. من جهة أخرى، قام <بولاك>، مستخدما الأقطاب الكهربائية electrodes، بقياس النشاط المخي عند الأطفال قيما كانوا يحددون هوية الانفعالات، فظهر أن نشاط الأطفال الذين أسيئت معاملتهم كان، أثناء مشاهدتهم وجهها يعبر عن الغضب، أعلى من نشاط الآخرين. هذه الدراسة تظهر أن الخبرات المعيشة يمكن أن تؤثر في تعرف تعبيرات الوجوه (انظر الشكل 4).

والجانب الثاني للذكاء الوجداني، جانب استخدام الانفعالات، يمثل القدرة على الانتفاع بالمعلومات الانفعالية من أجل تسهيل القيام بأنشطة معرفية أخرى. وهناك أمزجة humeurs معينة يمكن لها أن تساعد شكلا أو آخر من أشكال المهام السلوكية. وفي هذا الإطار، فإن <A> أيزن <من جامعة كورنل> قد أظهرت أن كون الفرد ذا مزاج مبتتهج يجعله أكثر قدرة على الإبداع. فقد استتارت، عند مجموعة من الطلبة، مزاجا إيجابيا حيناً، وذلك بأن

وكان يجب عليهم أن يركنوا إلى مشاعرهم لاختيار العلب التي تمكنهم من تجنب خسارة مالية.

ولم يكن المرضى بالإصابة المخية قادرين على وضع تلك الإحساسات في حساباتهم، فكانت خسائرهم أعلى من خسائر المشاركين في التجربة من غير المصابين بتلك الإصابة. وهكذا يظهر أن الإصابات المخية المانعة لظهور الانفعالات والمواطف يمكن لها أن تحدث اضطرابا في عملية اتخاذ القرار. وقد استنتج <داماسيو> من هذا أن الأفراد لا يقومون بسلوكهم بالاعتماد على تقدير الآثار الموضوعية لأفعالهم فحسب، وإنما كذلك، وقبل كل شيء، بالركون الواثق إلى انفعالاتهم. إن الانفعالات والتفكير أمران مترابطان معا على نحو وثيق، والفصل بينهما يمكن أن تنتج منه نتائج مفاجئة.

وقد قام أحدنا (سالوئي) مع <D> ماير <بتقديم مصطلح «الذكاء الوجداني» رسميا في عام 1995، معرفين له بأنه يدل على المقدرة على مراقبة المرء لعواطفه هو نفسه وعواطف

الآخرين، وعلى التمييز فيما بينها، وعلى استخدام هذه المعرفة من أجل توجيه تفكير المرء وأفعاله. وقد تطور هذا التصور من بعد ذلك، مع التأكيد على جانب العلاقات بين الانفعال والفكر. وكان علماء النفس، منذ نحو نهاية الأعوام 1970، قد قاموا بتجارب على مسائل إشكالية تقع على الحدود بين العاطفة والفكر، ومنها: آثار الاكتئاب في الذاكرة، وإدراك الانفعالات من خلال تعبيرات الوجوه، وكذلك أهمية ضبط الانفعالات والتعبير عنها.

لقد انبثق الذكاء الوجداني من هذه الأبحاث: إنه شكل للذكاء القابل للتحديد الكمي، والذي يعبر عن المقدرة capacité على التجريد وعلى الاكتساب بالتمرن وعلى التكيف مع البيئة. ومن أجل تنظيم بنية محاور البحث في العمليات المرتبطة بالانفعالات، قدمنا، مع باحثين آخرين في علم النفس، نموذجا للذكاء الوجداني يضم أربعة ميادين من المهارات المترابط بعضها ببعض: المقدرة على إدراك الانفعالات، المقدرة على استخدام الانفعالات من أجل تيسير التفكير العقلي، المقدرة على فهم لغة الانفعالات، وأخيرا المقدرة على إدارة الانفعالات، ما كان منها انفعالات للشخص نفسه أو انفعالات للآخرين. إن هذه المقدرات تتفاوت ما بين فرد وآخر، وهي ذات آثار اجتماعية مهمة.

ويقوم إدراك الانفعالات على تحديد هوية الانفعالات المعبر عنها على الوجوه مثلا أو بالأصوات أو في الصور الفوتوغرافية أو في الموسيقى. وهكذا، فحينما يكون صديق لنا غاضبا، فإنه يكفي أن ننظر إلى وجهه لنخمن طبيعة حالته الذهنية. وهذا الإدراك سيكون واحدا من الأعمدة التي يقوم عليها الذكاء الوجداني، حيث إنه لا غنى عنه عند معالجة المعلومات الانفعالية. وهو فضلا عن ذلك أمر مشترك بين سائر الثقافات البشرية؛ فقد عرَضَ <P> إكمان <من جامعة كاليفورنيا في سان فرانسيسكو> على سكان من غينيا الجديدة صورا فوتوغرافية لأمريكيين تعبر عن انفعالات مختلفة، فأنظر هؤلاء أنهم قادرون على أن يتعرفوا بدقة الانفعالات المعبر عنها في تلك الصور، هذا مع أنه لم يسبق لهم مطلقا أن قابلوا أمريكيين، وأنهم قد نُشِنُوا في ثقافة مختلفة تماما.



الاستعداد لفهم وتحليل الانفعالات المرء نفسه وانفعالات الآخرين (ه)، وأخيرا المقدرة على إدارة الانفعالات (مثلا ألا يحتاج المرء قبالة ما يضايقه) (و). إن للاختلافات في هذه المقدرات نتائج على جميع مظاهر الحياة الشخصية والاجتماعية.

الشكل 3: الذكاء الوجداني مجموعة من المقدرات التي تنتوزع على أربعة جوانب: الاستعداد لإدراك الانفعالات، مثلا حزن الآخر (ه)، المقدرة على استخدام انفعالات المرء من أجل القيام بعمليات التفكير (مثلا، كون المرء مرحا يسهل حل المشكلات) (و).

على مقياس يتدرج من صفر إلى 4، وكانت أربع منها من الحالات الوجدانية الإيجابية (السعادة، الفرح، التحمس، الاستمتاع)، وخمس تعود إلى حالات وجدانية سلبية (العصبية، الغضب، الحزن، الشعور بالخزي، الشعور بالذنب).

وفي نهاية الدراسة، سئل الطلبة المشاركون في التجربة عن الطريقة التي تعاملوا بها مع حالاتهم الوجدانية خلال الأسبوعين السابقين، وإن كانوا، مثلا، قد تحدثوا عنها مع أشخاص آخرين. وقد ظهر أن الإدراك الجيد للحالات الوجدانية الإيجابية لم يكن ذا تأثير في استراتيجيات تنظيم الحالات الوجدانية، وفي المقابل فإن أفراد المجموعة القادرين على التحديد الدقيق لحالاتهم الوجدانية السلبية قاموا بتجربة استراتيجيات متنوعة من أجل إدارة هذه الحالات الوجدانية. وهكذا، فإن معرفة كيف يميز المرء بين حالاته الوجدانية وكيف يحدد هوية كل منها هو مما يساعد على إدارتها بفعالية أعظم.

والجانب الرابع للذكاء الوجداني هو المقدرة على إدارة انفعالات المرء نفسه وانفعالات الآخرين أيضا. وربما كان هذا الجانب هو الجانب الأسهل تحديدا من جوانب الذكاء الوجداني، ولكنه يتعدى بكثير مجرد المقدرة على السيطرة على المزاج السيئ؛ ذلك أنه يظهر من الضروري أحيانا أن يستثمر المرء انفعالات سلبية؛ فالمحامي، مثلا، الذي يحاول إقناع من يتوجه إليهم بالكلام بوقوع ظلم من نوع ما، يستطيع أن يتظاهر بشعوره شخصيا بالإهانة والنقمة بهدف إقناع هيئة المحلفين.

إن الطريقة التي ندير بها انفعالاتنا يمكن أن تكون لها نتائج مهمة، وهو ما دلت عليه أبحاث «د كروس» [من جامعة ستانفورد] في التسعينات. فقد قام «كروس» بعرض أفلام فيديو حول عمليات جراحية يصعب تحمل مشاهدتها، كعمليات بتر عضو ما، على ثلاث مجموعات من الطلبة. وكان على أفراد المجموعة الأولى أن يكتُموا انفعالاتهم بقدر المستطاع، وذلك

كانت تعرض عليهم أفلاما كوميدية، ومزاجا محايدا حينما بعرض فيلم عن علم الرياضيات. ويعد أن يشاهد كل طالب أحد هذه الأفلام، فإنه كان يجلس أمام لوحة من الفلين، ويُعطى علبة من الكبريت وعلبة من الدبابيس وشمعة، ويطلب إليه أن يتوصل، خلال عشر دقائق، إلى طريقة لتثبيت الشمعة على اللوحة، بحيث تحترق الشمعة من دون أن يسيل شمعها على الطاولة. أما الطلبة الذين كانوا قد شاهدوا الأفلام الكوميدية، فإن عدد الذين توصلوا منهم إلى الحل كان أكبر من عدد الآخرين، وكان يكفي إفراغ علبة الكبريت من أعوادها، وتثبيتها على اللوحة بواسطة الدبابيس واستعمالها على هذا النحو كدعامة للشمعة. وهكذا، فإن الذكاء الوجداني يسهل القيام ببعض المهام.

فهم المرء لانفعالاته وإدارته لها

أما الجانبان الثالث والرابع من الذكاء الوجداني فلهما طابع استراتيجي أكبر من السابقين. فالجانب الثالث، فهم الانفعالات - هو المقدرة على كيفية استخلاص معلومات من العلاقات فيما بين الانفعالات ومن التحولات من انفعال إلى آخر، وأيضا القدرة على الوصف الدقيق لانفعالات المرء نفسه. إن الشخص الذي يجيد فهم الانفعالات يستطيع أن يميز ما بين انفعالات مترابطة، مثل الفرح والافتخار، أو يدرك أن المرء إن لم يكن منتبها لأحواله فسيتركه عنده امتعاض يسير يمكن أن يتحول إلى غضب كتيب.

لقد بينت الباحثة في علم النفس «د. بارت» [من بوسطن] أن مقدرة المرء على إدراك حالاته الوجدانية الخاصة تؤثر في الشعور بالإنهاء. فقد طلبت، مع زملائها، إلى مجموعة من 53 طالبا أن يسجلوا يوميات حالاتهم الوجدانية خلال أسبوعين. وكان على هؤلاء الطلبة أن يقدروا بوجه خاص خبرتهم الوجدانية اليومية الأشد قوة، وذلك بأن يضعوا درجات بحسب القوة لتسع من الحالات الوجدانية

اتفاقهم أو اختلافهم مع تقديرات تصور جوانب متنوعة من الذكاء الانفعالي. وعلى سبيل المثال، فإن اختبار التقدير الذاتي للذكاء الوجداني (أو SREIT) يعرض تقديرات من هذا النوع: «إني أتحكم في انفعالاتي» أو «هناك أشخاص يجدون أنه من السهل عليهم أن يقضوا إلي بمكنوناتهم».

مفهوم يصعب قياسه^(٤)

من أجل التقدير عن طريق شخص محايد، فإنه يطلب إلى أشخاص يتعاملون غالباً بعضهم مع بعض (أصدقاء أو زملاء في العمل) أن يضع بعضهم لبعض تقديرات لدرجة ذكائهم الوجداني، وذلك بحسب موضوعات مشابهة لموضوعات تقارير التقدير الذاتي. ولسوء الحظ، فإن هذه الاختبارات غالباً ما تتناول صفات تتعدى الإطار الدقيق للذكاء الوجداني، والتي عادةً ما يتم تقديرها بواسطة اختبارات الشخصية. من جهة أخرى، فإن التقدير الذاتي قد تأتي عليه بعض الانحرافات. فعلى سؤال: «هل تعتبرون أنكم أنكياء وجدائياً؟» يريد معظم الناس أن يجيبوا بالطبع بالإيجاب. وإضافة إلى ذلك، فإن الأفراد لا تكون عندهم بالضرورة فكرة واضحة عن ميزاتهم وعن جوانب ضعفهم. أما بخصوص التقديرات عن طريق طرف محايد، فإنها هي الأخرى تخضع لتأثير الأحكام المعوجة وللتفسيرات الذاتية. ومن أجل معالجة هذه الصعوبات جزئياً، فإن الباحثين يقومون بتقدير الذكاء الوجداني بواسطة سلم متعدد العوامل للذكاء الوجداني، وقد قُدمت صياغة محسنة لهذا الاختبار عام 2002، وهي اختبار

(٤) Un concept difficile à mesurer

بالحد من تعبيراتهم الوجهية. أما طلبة المجموعة الثانية فقد طلب إليهم أن يشاهدوا الفيلم بعينون حيادية ولا يندمجوا مع ما يشاهدونه. أما طلبة المجموعة الأخيرة فلم يطلب إليهم شيء (وهذه كانت المجموعة الضابطة). وقد تم تصوير الطلبة، كما سجلت ردود أفعالهم الفزيولوجية، من مثل درجة نبض القلب والمواصلة conductance الجلدية (ترتفع درجة المواصلة مع الانفعالات، حيث إن الجلد يفرز عند ذلك عرقاً أكثر). وفي الوقت نفسه كان على المشاركين في التجربة أن يضعوا تقديرات لعواطفهم الخاصة، وذلك قبل رؤية الفيلم وأثناءها وبعدها.

لقد كان للفيلم آثار عظيمة الاختلاف في طلبة المجموعتين الأولى والثانية (انظر الشكل 5). فقد نجح طلبة المجموعة الأولى في الحد من المظاهر الخارجية الانفعالية، إلا أن ردود أفعالهم الفزيولوجية كانت أكثر قوة بكثير من ردود أفعال أفراد المجموعة الضابطة، وقد أعربوا عن شعورهم بالاشمئزاز العميق، شأنهم شأن أفراد المجموعة الضابطة. أما أعضاء المجموعة الثانية، الذين طلب إليهم أن يبقوا حياديين، فإنهم أعربوا عن اشمئزاز أقل وكانت ردود أفعالهم الفزيولوجية مطابقة لتلك التي عند أفراد المجموعة الضابطة. إن هذه التجربة تظهر أنه يمكن أن تكون هناك كلفة فزيولوجية كبيرة، حتى عندما لا يلاحظها أحد، لكتم الانفعالات السلبية. ومع ذلك، فإنه من المفيد أن يراقب المرء انفعالاته وأن يقيّمها.

هل خصائص الذكاء الوجداني هي خصائص كيفية وحسب؟ وهل تقف اختبارات الذكاء الوجداني عند حد الكشف عن سمات الشخصية؟ إن الإجابة هي لا، والمناهج المقترحة تتوزع على ثلاث مجموعات: التقدير الذاتي، والتقدير الذي يقوم به طرف محايد، واختبارات الاستعدادات.

أما التقدير الذاتي فإنه لا يزال واسع الاستخدام كثيراً، حيث إنه يسهل القيام به. وهنا يقوم الأفراد المختبرون بالتعبير عن

الشكل 4: إبراز الانفعالات هو مقدرة أساسية تشترك فيها جميع المجموعات البشرية. ولكن هذه المقدرة تتفاوت بين شخص وآخر. فالأطفال الذين لقوا سوء المعاملة، والذين تُعرض عليهم وجوه مشككة حاسوبياً (في الأسفل)، يظهرون أكثر من غيرهم من الأطفال ميلاً إلى قراءة الغضب على هذه الوجوه، حتى حينما لا يكون التعبير ظاهراً. وقد سجلت الأقطاب الكهربائية التي وضعت على فروة الرأس (في اليسار) نشاطاً مخياً أكثر قوة حينما كان هؤلاء الأطفال يرون وجوهاً يعبر عن الغضب.



أخرى. وقد أثبتنا أن نتائج اختبارات التقدير الذاتي للذكاء الوجداني، من قبيل الاختبار SREIT، تقدم نتائج متشابهة مع اختبارات الشخصية التقليدية، وهو ما يشير إلى أن اختبارات التقدير الذاتي للذكاء الوجداني تضيق عددا ضئيلا من المعلومات مقارنة باستبيانات الشخصية النموذجية. وفي المقابل فإن الاختبار MSCEIT لا يقدم المعلومات نفسها التي تقدمها اختبارات الشخصية.

وإحدى صعوبات اختبار ماير-سالوفي-كاروزو هي مسألة تعريف الإجابة الصحيحة. فعلى خلاف اختبارات الذكاء التقليدية، فإن أسئلة اختبارات الذكاء الوجداني ليس لها بوضوح إجابة ما سليمة أو خاطئة، وعلى سبيل المثال، هناك استجابات متعددة يمكن أن تكون ذات فاعلية في إدارة المواقف الانفعالية، فكيف نقرر أيها هو «الأكثر ذكاء»؟

وفي إطار نموذج الذكاء الوجداني فإن الكفاءات الوجدانية لا يمكن عزلها عن السياقات الاجتماعية. فلكي يستخدم المراهق انفعالاته استخداما ناعما، فإن عليه أن يكون متوافقا مع المعايير الاجتماعية والثقافية التي لبيئته. ومن ثم، وفي داخل مجموعة اجتماعية معينة، فإن الإجابات الصحيحة لشخص ما إنما تتوقف على إجابات الآخرين. ويضاف إلى هذا أن الإجابات المناسبة يمكن أن تُستخرج جزئيا من الخبرات المتنوعة التي تستدعي الانفعالات. وهكذا، فإن جرد الإجابات في اختبار ماير-سالوفي-كاروزو يتم باستخدام منهجين: التوافق الجماعي وتقدير الخبراء. وفي الحالة الأولى، يتم مقارنة إجابات الفرد

المعين بإجابات عينة مرجعية مكونة من خمسة آلاف شخص. وهذه العينة، التي تجمع أفرادا من سبعة بلدان مختلفة، تكون متناقرة العناصر من حيث مستوى التعليم أو مستوى الانتماء العرقي. وبحسب هذا المدخل، يعكس تطابق قوي بإجابات العينة المرجعية ذكاء وجدانيا عاليا. أما في حالة الاعتماد على تقديرات الخبراء، فإن إجابات فرد ما تقارن مع إجابات مجموعة من واحد وعشرين مختصا من أعضاء الجمعية الدولية للأبحاث حول الحالات الوجدانية Société internationale pour la recherche sur les émotions.

ولكن هل تتسق هاتان الملاحظتان إحداهما مع الأخرى؟ إن التلازم المتبادل بين مجموع الدرجات التي يحصل عليها باستخدام منهج التوافق الجماعي وتلك التي يحصل عليها باستخدام منهج تقدير المختصين هو تلازم معتاز، وهو ما يُظهر أن المختصين وغير المختصين يحكمون بالطريقة نفسها على الإجابات الأكثر ذكاء من الناحية الوجدانية. واختصارا، ونظرا للتداخل المحدود بين الاختبار MSCEIT من جهة وبين اختبارات الشخصية واختبارات الذكاء التحليلي من جهة أخرى، فإنه يبدو أن هذا الاختبار يقيم على نحو يعول عليه ما ليس هو الشخصية ولا هو نسبة الذكاء (QI): إنه الذكاء الوجداني.

وما أسرع أن وجدت أداة قياس الذكاء الوجداني هذه تطبيقات



الشكل 5: من أجل تقدير كيف يقوم الأشخاص بإدارة انفعالاتهم عُرض على عدد من الطلبة فيلم عن عملية جراحية تُبث على التلفاز. وكان على أفراد مجموعة أولى منهم أن يبقوا حياديين [الأزرق]. وعلى أفراد مجموعة أخرى أن يخفوا انفعالاتهم [البيج]. وأما أفراد المجموعة الضابطة فإنهم لم يثقلوا أي تعليمات معينة [البنفسجي]. أفراد المجموعة الضابطة اظهروا التفرق [أفوق إلى اليسار]. وكانت لهم ردود أفعال فزيولوجية ملحوظة [النمط المقيس عند الإصبع، درجة حرارة الجلد، والمواصلة الجلدية المرتبطة بالعرق، والتي تزيد مع الانفعالات]. أما الأفراد «الحياديون»، فإنهم اظهروا تفرقا أقل، وكانت ردود أفعالهم الفزيولوجية مشابهة لتلك التي عند أفراد المجموعة الضابطة. أخيرا، فإن الطلبة الذين أخفوا انفعالاتهم لم يظهروا إلا قليلا من التفرق، ولكن ردود أفعالهم الفزيولوجية كانت شديدة القوة، وهو ما يعني أن إخفاء المراهق لانفعالاته تكون له كلفة فزيولوجية.

ماير-سالوفي-كاروزو للذكاء الوجداني Mayer-Salovey-Caruso emotional intelligence test (واختصاره MSCEIT).

يتضمن الاختبار MSCEIT ثمانين مهمة: مهمتين لكل جانب من جوانب الذكاء الوجداني. وعلى سبيل المثال، فإنه يتم اختبار إدراك الحالات الوجدانية بأن تُقدّم إلى الأفراد المشتركين صورة فوتوغرافية لشخص ما، ويطلب إليهم أن يقدروا درجة الحزن أو السعادة أو الخوف التي يكتشفون وجودها على وجه الشخص. ويتم تقدير مدى التحكم في إدراك الحالات الوجدانية بأن يطلب إلى الأفراد المشتركين إلى حد تسهيل بعض الحالات النفسية (الملل مثلا أو السعادة) القيام ببعض الأعمال المعينة أو أنها تدخل اضطرابا على ذلك، وتقوم الاختبارات أيضا بتقدير معرفة المصطلح المتصل بالحالات الوجدانية. وأخيرا، فإن الجزء المخصص لإدارة الانفعالات يقوم بتقديم مشاهد من الحياة العادية إلى الأفراد المشتركين، ويطلب إليهم اختيار أفضل الطرق والوسائل من أجل إدارة الانفعالات التي تثيرها هذه المشاهد (انظر الإطار في الصفحة 46). وتظهر النتيجة على هيئة درجة كلية.

والآن، هل لاختبار ماير-سالوفي-كاروزو أداء عالٍ performatant لمعرفة ذلك، قام «M» براكته [من جامعة بيل] و«ماير» بمقارنته أولا باختبارات

لها. ففي ميدان العمل، يمكن أن يساعد الذكاء الوجداني على حسن تفاهم المرء مع زملائه. وقد أشرف <« لوبييز » [من جامعة سري في المملكة المتحدة] على دراسة حول موظفي إحدى شركات التأمين، الذين كانوا يعملون في فرق. وكان يطلب إلى كل موظف أن يعطي درجات للموظفين الآخرين في فريقه من خلال توصيفات مرتبطة بالحالات الوجدانية، من قبيل: «هذا الشخص يتحمل الضغوط من دون أن تتور أعصابه». ثم قام المديرين في الشركة بإعطاء تقديرات لمؤوسيتهم بحسب مفردات مشابهة لتلك. وجميع الأشخاص الذين شاركوا في الدراسة خضعوا أيضا لاختبار ماير-سالوفي-كاروزو. وقد كان الموظفون الذين سجلوا أعلى الدرجات في الاختبار MSCEIT هم أولئك الذين نالوا أعلى التقديرات الإيجابية من جانب زملائهم ورؤسائهم. وقد قرر زملاؤهم أنه كانت لهم معهم أقل الصراعات، ونظروا إليهم باعتبارهم خالقين لأجواء إيجابية في العمل. أما الرؤساء فقد ارتووا أنهم أكثر من غيرهم من حيث الحساسية على المستوى الشخصي، وأنهم اجتماعيون، ومقاومون لضغوط العمل، وأكثر استعدادا لقيادة الآخرين. كذلك، فإن الدرجات كانت مترابطة مع الوضع التراتبي^(١) ومع الراتب.

منافع الذكاء الوجداني^(٢)

يسهم الذكاء الوجداني كذلك في إقامة علاقات حسنة مع أقران المرء، وفي الحفاظ عليها. ففي دراسة أخرى طُلب إلى طلبة ألمان أن يسجلوا يوميات تصف تفاعلاتهم مع الآخرين مدة خمسة عشر يوما. وكان على الطلبة عند حديثهم عن كل تفاعل أن يحددوا جنس الشخص، وكيف عاشوا التفاعل، وما إذا كانوا يرغبون أثناءه في إحداث انطباع معين عند الطرف الآخر، وما إذا كانوا يعتقدون أنهم قد نجحوا في ذلك. ولقد كشفت النتائج عن وجود ارتباط بين درجات إدارة الانفعالات في الاختبار MSCEIT ومستوى المتعة والاهتمام اللذين أنتجتتهما التفاعلات عند الطلبة، وبخاصة التفاعلات مع الجنس المقابل، وكذلك الثقة التي شعروا بها والأهمية التي أولوها لتلك التفاعلات. وقد قرر الطلبة الذين حصلوا على درجات عالية حول إدارة الانفعالات في الاختبار MSCEIT أنهم شعروا بقدر أعلى من المتعة ومن الحميمية ومن الاهتمام ومن الاحترام للشخص الآخر. كذلك ظهر أن إدارة الانفعالات كانت متلازمة مع الإحساس بإحداث الانطباع المرغوب فيه على الشركاء من الجنس المقابل.

إلى أي حد تعكس درجات اختبار ماير-سالوفي-كاروزو نوعية العلاقات الاجتماعية؟ لقد قام بعض الطلبة بالإجابة عن الاختبار وكذلك بالإجابة عن استبيانات تقدر نوعية صداقاتهم وعلاقاتهم الاجتماعية، وطلب إلى هؤلاء الطلبة أن يأتوا باثنين من أصدقائهم من أجل تقدير نوعية صداقتهم. وكانت النتيجة أن أصدقاء الأفراد الذين حصلوا على درجات عالية حول إدارة الانفعالات قد وصفوهم بأنهم يجيدون الاستماع للغير ويأنهم يقدمون لهم دعما وجدانيا قيما. ومن جهة أخرى، فإن الذكاء الوجداني يمكن أن يساعد الأشخاص

على إدارة علاقاتهم الغرامية، بحسب ما أظهرته دراسة على مئة وثمانين زوجا من الأشخاص، من منطقة لندن، متوسط أعمارهم خمسة وعشرون عاما. وكان عضوا كل زوج يقومان بأداء اختبار ماير-سالوفي-كاروزو، ثم يجيبان بعد ذلك عن استبيانات حول جوانب متنوعة من علاقتهما، من قبيل نوعية ما يتلقاه كل منهما من الآخر، والسعادة التي يجدها في علاقتهما. وقد أظهرت النتائج تلازما بين السعادة والحصول على درجات مرتفعة في الاختبار عند كل من الشريكين. وفي المقابل، عندما كان أحد الشريكين يحصل على درجة مرتفعة والآخر على درجة منخفضة، فإن درجة الرضا تكون ضعيفة.

وهكذا سمحت الأبحاث الحديثة باستخلاص تصور concept الذكاء الوجداني باعتباره مجموعة من الميكنات التي تتعامل مع تعرف الانفعالات وإدارتها. ولا يكون الذكاء الوجداني إيجابيا دائما بالضرورة، فالقدرة على إدراك ما يشعر به الآخرون يمكن أن يستغلها المحتالون في التلاعب بضحاياهم. إن الأقوال الشعبية حول الذكاء الوجداني لهي متقدمة على ما قررته بشكل قاطع الأبحاث العلمية، ومع ذلك فإن أصحاب الأعمال والمربين يهتمون بموضوع الأحوال الوجدانية، والأبحاث حول إدراك الأحوال الوجدانية تتكاثر.

ولأنزال ميادين عديدة للبحث تنتظر الاستكشاف، فلماذا يميل أفراد معينون إلى الانتفاع بذكائهم الوجداني في مواقف معينة؟ وهناك، مثلا، في السياسة، بعض الأشخاص الذين يتمتعون بموهبة استثنائية في استخدام انفعالاتهم في حياتهم العامة، بينما تبدو حياتهم الخاصة بائسة. ومن جهة أخرى، كيف تظهر الاختلافات الفردية خلال العمليات الوجدانية؟ لقد أبرز الباحثون العلميون حتى اليوم مبادئ تتصف بالعمومية، ومن شأنها أن تضيف إضاءة مهمة إلى طبيعة الخبرة الوجدانية الإنسانية. ومع ذلك، ففي داخل ثقافة معينة، يختلف الأشخاص بعضهم عن بعض، من حيث المقدرة على تفسير الإشارات الوجدانية وعلى استخدامها. وأخيرا، لماذا يكون أشخاص باعيتهم أكثر قدرة من غيرهم على التعامل مع انفعالاتهم؟

Las bienfaits de l'intelligence émotionnelle (*)
hiérarchique (1)

المؤلفان

Daisy Grewal - Peter Salovey

نشكر المجلة American Scientist للسماح لنا بنشر هذه المقالة.

كريال باحث في علم النفس لدى جامعة ييل، أما سالوفي فهو أستاذ علم النفس في هذه الجامعة. حيث يدير مختبر الصحة والعواطف والسلوكيات.

مراجع للاستزادة

A. DAMASIO, Spinoza avait raison, Joie et tristesse, le cerveau des émotions, éd. Odile Jacob, 2005.

J. MAYER et al., Measuring emotional intelligence with the MSCEIT V2.0, in Emotion, vol.3, pp. 97-105, 2003.

A. DAMASIO, Le sentiment même de soi. Corps, émotion, conscience, éd. Odile Jacob, 2002.

كاليفورنيا بأنجلوس، وفي جامعة كاليفورنيا الجنوبية، وفي مركز مسرع ستانفورد الخطي (Stanford Linear Accelerator Center (SLAC)، مستخدمين حزمًا من مصادم ستانفورد الخطي.

أولا، وفي المقام الأهم، تخطى هؤلاء الباحثون مشكلة كون طول المسرعات البلازمية العاملة بالليزر مساويا عدة سنتيمترات فقط، فصنعوا مسرعا بلازميا لكل

لقد وصفت هذه المسرعات على أنها مسرعات إلكترونات فقط، أما لتسريع جسيمات شحنتها موجبة، كالبيوترونات، فيجب عكس جهة الحقل الكهربائي. وأسهل طريقة للقيام بهذا هي استخدام حزمة جارة من البيوترونات، فالشحنة الموجبة لهذه الحزمة تجذب إلكترونات البلازما إلى الداخل، وكما في السابق، تتجاوز الإلكترونات المحور المركزي وتشكل فقاعة. ويكون اتجاه الحقل

أن صنع جهاز عملي لا يزال يواجه تحديات قاهرة. فعلى وجه الخصوص، يجب على مهندسي الحزم تحقيق حزم ذات مواصفات كافية من حيث الجودة، والكفاءة (أي مقدار طاقة الحزمة الجارة الذي يصل إلى الجسيمات المسرعة)، وتفاوتات التحاذي المسموح بها (يجب أن تكون الحزم متحاذاة بدقة لا تتجاوز بضعة نانومتترات عند نقطة التصادم)، وأخيرا فإن معدل التكرار في

بين المسرع أن الإلكترونات اكتسبت طاقة تفوق 4 جيجا إلكترون فلت في 10 سنتيمترات فقط.

عن الإلكترونات والبيوترونات طوله متر واحد. وقد تطلب إبقاء الحزم الجارة مستقرة على طول تلك المسافة مهارة كبيرة. ثانيا، تمكنوا من تحقيق ربح في طاقة الإلكترونات يفوق 4 جيجا إلكترون فلت على مسافة 10 سنتيمترات فقط ولم يحد ربح الطاقة هذا سوى اعتبارات عليا فقط، وليس أي قضية علمية، وهذا يعني أنه يمكن زيادته بمجرد زيادة طول البلازما وأخيرا بينوا أن البلازما يمكن أن تصاغ تبخير حزمة الإلكترونات أو البيوترونات، المبارة أصلا، مرتين على الأقل. وهذا تحسين مهم لمصادم يجب أن تُبار فيه الجسيمات المسرعة في بقعة صغيرة جدا. فكما كانت الحزم مبراة بدقة أعلى، أنتج التصادم عددا أكبر من التصادمات، وفي التصادم، تكافى أهمية معدل التصادمات، بوصفه بارامترا، أهمية الطاقة الكلية ذاتها.

لقد أدت هذه الفتوح التقنية التخمينات حول إمكان الوصول بالطريقة البلازمية إلى حدود الطاقة العليا، لكن يجب أولا اختبار هذه التقنية باستخدام مسرع موجود حاليا ممثلا المرحلة الأولى. فمثلا، يمكن تركيب جهازي حقل مخر بلازمي عند أي من طرفي نقطة التصادم في مسار ستانفورد الخطي. وهذا يمكن أن يضاعف طاقات الحزم الحالية جاعلا إياها 100 جيجا إلكترون فلت، بدلا من 50 جيجا إلكترون فلت، وحينئذ سيكون طول كل من الحراقتين البلازميين اللاحقتين نحو 10 أمتار. ومع أن هذا المشروع لم يمول حتى الآن، فقد اقترح مركز مسرع ستانفورد الخطي على وزارة الطاقة الأمريكية بناء خط حزمة عالية الطاقة يدعى SABER لمتابعة هذا البحث.

الكهربائي معكوسا مقارنة بحالة حزمة الإلكترونات التي وصفتها سابقا، وهذا هو المطلوب لتسريع حزمة البيوترونات المجرورة. يُضاف إلى ما سبق أنه يمكن لهذه الآلات المعتمدة على البلازما أن تسرع جسيمات أثقل من قبيل البيوترونات. والشرط الوحيد لذلك هو أن تكون الجسيمات المحقونة قد سرعت سلفا حتى سرعة الضوء تقريبا، كي لا تتخلف عن موجة البلازما، هذا يعني، بالنسبة إلى البيوترونات، أن طاقة الحقن يجب أن تكون عدة جيجا إلكترون فلت.

يحرز الفيزيائيون تقدما سريعا في سعيهم نحو المسرع البلازمي. ومع أن العديد من القضايا الفيزيائية الأساسية قد حل، إلا

الجهاز (أي عدد النبضات التي يمكن تسريعها في كل ثانية) ذو أهمية أيضا. لقد أمضى بناء المسرعات العادية 75 عاما حتى وصلوا إلى طاقات تصادم للإلكترونات والبيوترونات في مجال الـ 200 جيجا إلكترون فلت. أما المسرعات البلازمية، فتتقدم بسرعة أكبر، ويأمل الباحثون أن ينجزوا التقنية الجديدة، التي تتجاوز المنظومات القائمة على الموجات الميكروية في فيزياء الطاقة العالية، خلال عقد أو اثنين فقط. وقبل ذلك بكثير، سوف تُنتج تقانة حقل المخر الليزري مسرعات توضع على الطاولة، استطاعتها في مجال الجيجا إلكترون فلت، لتحقيق تطبيقات غنية التنوع. ويمضي ركوب الموجة قدما. ■

المؤلف

Chandrashekar Joshi

استاذ الهندسة الكهربائية في جامعة كاليفورنيا بولس أنجلوس ومدير مركز إلكترونيات الترددات العالية، والمنشأة Neptune للأبحاث المسرعات المتقدمة في الجامعة نفسها. وبصفته رائدا في تقنيات التسريع المتقدمة، فقد اكتسب شهرة واسعة بسبب إسهامه في مجالات بصريات البلازما اللاخطية، والتأثرات بين المادة والليزرات الشديدة، وتطبيقات علم البلازما في الاندماج، والمسرعات والمنابع الضوئية.

مراجع للاستزادة

Plasma Particle Accelerators. John M. Dawson in *Scientific American*, Vol. 260, No. 3, pages 54-61; March 1989.

Plasma Accelerators at the Energy Frontier and on Tabletops. Chandrashekar Joshi and Thomas Katsouleas in *Physics Today*, Vol. 56, No. 6; pages 47-53; June 2003.

Accelerator Physics: Electrons Hang Ten on Laser Wake. Thomas Katsouleas in *Nature*, Vol. 431, pages 515-516; September 30, 2004. Also three research reports in the same issue.

The Lasers, Optical Accelerator Systems Integrated Studies (L'OASIS) Group at the University of California, Berkeley: <http://loasis.lbl.gov/>

Stanford's Plasma Wakefield Accelerator Experiment: www.slac.stanford.edu/grp/arb/e164/Index.html

المكنيتارات: نجوم فائقة المغنطيسية^(١)

بعض النجوم فائقة المغنطيسية لدرجة أنها تُصدر دفقات هائلة من الطاقة المغنطيسية، وتغير الطبيعة الكمومية للخلاء.

<Cl> كوكليوبونو - <C.R> داتكر - <Cl> طومسن

كانت هذه النبضة من أشعة كاما ذات الطاقة العالية القاسية hard أقوى مرة من أي انبثاق سابق لأشعة كاما من خارج المنظومة الشمسية، على الرغم من استمرارها عُشري ثانية فقط. في تلك الأثناء، لم يلحظ أحد شيئاً، واستمرت الحياة بوجه هادئ وطبيعي تحت الغلاف الجوي الواقي لكوكبنا. ولحسن الحظ، فقد نجت السفن الفضائية العشر من دون أن تحل بها أضرار دائمة. تبع هذه النبضة الشديدة وهج أقل سطوعاً لأشعة كاما الأقل طاقة وللأشعة السينية، التي خفتت تدريجياً خلال الدقائق الثلاث التالية. وخلال ذلك، ضارت الأشعة تتذبذب برفق بدور قدره ثماني ثوان. وبعد ١٤ ساعة ونصف، أي في الساعة الواحدة وسبع عشرة دقيقة من يوم 1979/3/6 أتت بثقة أخرى من البقعة نفسها في السماء، لكنها كانت أقل سطوعاً. وعلى مدار السنوات الأربع التالية تمكن

في 1979/3/5، وبعد عدة أشهر من إسقاط مسابير استكشاف كوكب الزهرة ذي الغلاف الجوي السام، كانت سفينتا الفضاء السوفييتيتان Venera 11 و Venera 12 تندفعان عبر المنظومة الشمسية الداخلية في مدار إميليجي. لقد كانت رحلة غير زاهرة بالأحداث، فقرأت مقاييس الإشعاع على متن كل منهما كانت تتأرجح حول مئة عدّة في الثانية، لكن في الدقيقة الواحدة والخمسين بعد العاشرة صباحاً بتوقيت شرق الولايات المتحدة الأمريكية، داهمتها نبضة من أشعة كاما. وخلال جزء من الملي ثانية، قفز مستوى الإشعاع إلى أعلى من 200 000 عدّة في الثانية، ثم تجاوز الحد الأقصى للمقياس.

وبعد 11 ثانية غمرت أشعة كاما مسبار الفضاء Helios 2، التابع للوكالة ناسا، والذي كان يذور أيضاً حول الشمس. كان من الواضح أن ثمة جبهة موجية مستوية من الأشعة ذات الطاقة العالية تجتاح المجموعة الشمسية، سرعان ما وصلت إلى كوكب الزهرة وتجاوزت طاقة قياس كاشف الإشعاع على متن مركبة الفضاء Pioneer Venus Orbiter. وخلال ثوان وصلت أشعة كاما إلى الأرض، وغمرت كواشف الإشعاع المحمولة على متن ثلاثة من سواتل Vela التابعة لوزارة الدفاع الأمريكية، وعلى الساتل السوفييتي Prognos 7، ومرصد Einstein. وأخيراً، عندما كانت الموجة في طريقها للخروج من المنظومة الشمسية، داهمت مركبة الفضاء International Sun Earth Explorer.

نظرة إجمالية/ نجوم فائقة المغنطيسية^(٢)

- وجد الفلكيون بضعة نجوم تطلق ومضات متوهجة من أشعة كاما والأشعة السينية يفوق سطوعها ملايين المرات سطوع أي مصدر مكر آخر لهذه الأشعة. تشير الطاقات الهائلة والانبثاقات النابضة المصاحبة لهذه الأشعة إلى أن مصدرها هو ثاني أكثر الأجرام الكونية غرابة (بعد الثقوب السوداء)، ألا وهو النجم النوروني.
- يملك هذا النوع من النجوم النورونية أقوى حقل مغنطيسي جرى قياسه على الإطلاق. ولذلك سميت مكنيتارات^(٣)، أي النجوم الفائقة المغنطيسية. تثير الطاقة المغنطيسية العالية اضطرابات على سطوح المكنيتار تشبه الزلازل الأرضية، ويمكنها تفسير ومضات (تفجرات) الأشعة الساطعة.
- تظل المكنيتارات ناشطة قرابة عشرة آلاف سنة فقط، وهذا يدل على أن الملايين منها تجوب مجرتنا من دون اكتشافنا لها بعد.

Overview / Ultramagnetic Stars (١٠٠)

MAGNETARS: العنوان الأصلي

(١) الكلمة magnetar منحوتة من الكلمتين الإنكليزيتين magnetic star (النجم المغنطيسي) وعربت منحوتة: مكنيتار.



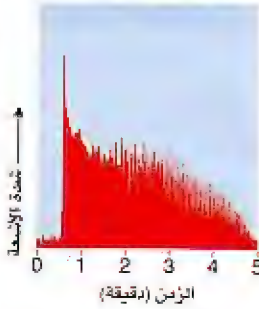
يطلق زلزال نجمي على مكنيتار قدرا كبيرا من الطاقة المغنطيسية يعادل طاقة زلزال أرضي بدرجة 2١ وفق مقياس ريختر، ويصدر كرة نارية من البلازما تحتجزها الحقل المغنطيسي.

نجوم مرشحة لتكون مكنيتارات

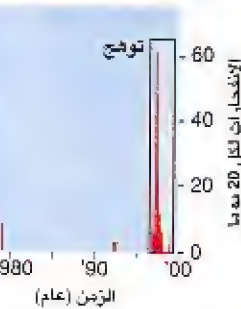


اكتشف لنا عشر مكنيتارا في مجرتنا (درب التبانة) أو قريبا منها.

توهج المكنيتار SGR 1900+14



شباط المكنيتار SGR 1900+14



أكد التوهج الهائل الذي حدث في الشهر 1998/8 وجود المكنيتارات، وقد بدأ بومضة قصيرة من الإشعاع استغرقت أقل من ثانية (في اليسار) تليها سلسلة من النبضات التي كانت تحدث كل 5.16 ثانية. كان هذا الحدث أكبر انفجار رُصد من هذا النجم (الذي سُمي SGR 1900+14)، وذلك منذ اكتشافه عام 1979 (في اليمين).

اسم المكنيتار	عام اكتشافه	زمن الدوران (ثانية)
SGR 0526-66	1979	8.0
SGR 1900+14	1979	5.16
SGR 1806-20	1979	7.47
SGR 1801-23*	1997	?
SGR 1627-41	1998	?
AXP 1E 2259+586	1981	6.98
AXP 1E 1048-59*	1985	6.45
AXP 4U 0142+61	1993	8.69
AXP 1RXS 1708-40*	1997	11.0
AXP 1E 1841-045	1997	11.8
AXP AXJ 1844-0258	1998	6.97
AXP CXJ 0110-721*	2002	5.44

* غير مبن بالشكل لعدم معرفة الموقع بدقة
• اسم مختصر

تولوز بفرنسا في الشهر 1986/7، جرى الاتفاق بين الفلكيين على المواقع التقريبية لهذه المصادر الثلاثة، وأطلقوا عليها اسم «مكررات أشعة كاما اللينة»، soft gamma repeaters (SGRs). وبهذا اكتسبت أجيديات علم الفلك عنصرا جديدا.

مرت سبع سنوات أخرى قبل أن يبتكر اثنان من مؤلفي هذه المقالة (دانكن وطومسن) تفسيراً لهذه المصادر الغريبة. وفي عام 1998 وجدت المؤلفة المشاركة <كوفليوتو> وفريقها دليلاً قوياً على هذا التفسير. وتربط المشاهدات الرصدية الحديثة نظريتنا بنوع آخر من الألبان السماوية المعروفة بنباضات الأشعة السينية الشاذة anomalous X-ray pulsars (AXPs). وقد أدت هذه التطورات إلى طفرة في فهمنا لواحد من أكثر الأجسام السماوية غرابة ألا وهو النجم النتروني.

النجوم النترونية هي أكثر الأجسام المادية المعروفة كثافة، لأنها

P. E. مازيتس وزملاؤه [من معهد Ioffe في سانت بيترسبرج بروسيا] من رصد 16 انبثاقاً لأشعة كاما من الاتجاه نفسه. تفاوتت تلك الانبثاقات في درجة سطوعها، لكنها كانت جميعاً أقل سطوعاً وأقصر زمناً مما حدث في 1979/3/5.

لم ير الفلكيون شيئاً كهذا من قبل، وبغية حصولهم على فكرة أفضل، فقد وضعوا مبدئياً هذه الانبثاقات ضمن تصنيفات نوع آخر من انبثاقات أشعة كاما gamma-ray bursts (GRBs) التي كانت معروفة على وجه أفضل في ذلك الوقت، على الرغم من اختلافاتها الواضحة في عدة أوجه. وفي منتصف الثمانينات، أدرك C. K. مارلي [من جامعة كاليفورنيا بركلي] أن ثمة انبثاقات مشابهة تأتي من موضعين آخرين في السماء، كان واضحاً أن هذه المصادر تطلق تلك الانبثاقات بطريقة متكررة على عكس انبثاقات GRB التي لا تتكرر من الموضع نفسه مرة أخرى [انظر: «أسطح الانفجارات في الكون»، العددان 7/6 (2003)، ص 32]. وفي مؤتمر الفلكيين في

نوعان من النجوم النوترونية^(*)

1 يُظن أن معظم النجوم النوترونية تبدأ كنجوم ضخمة، لكن عادية، بكتل تقع بين ثماني مرات وعشرين مرة من كتلة الشمس.

2 تنتهي حياة هذه النجوم الضخمة بانفجار مستعر أعظمي من النوع الثاني II type، عندما يتحول قلب النجم إلى كرة كثيفة من الجسيمات الأولية/ دون الذرية.

3A إذا كان النجم النوتروني المولود حديثا يدوم بسرعة عالية بقدر كاف، فإنه يولد حقلا مغناطيسيا كثيفا، تلتوي خطوطه داخل النجم.



3B إذا كان النجم النوتروني المولود حديثا يدوم ببطء، فعلى الرغم من أن حقله المغناطيسي قوي بالمقاييس الاعتيادية، فإنه لا يبلغ مستوى المكنيتار.



4A

يستقر المكنيتار في حالة دقيقة، تلتوي في داخله خطوط الحقل المغناطيسي وتكون منتظمة في الخارج. وقد يصير حزمة ضيقة من الموجات الراديوية.



4B

يكون النجم النياض الناضج أبرد من المكنيتار الذي له العمر نفسه. يصدر النجم حزمة راديوية عريضة للمقارِب رصدها بسهولة.



واضح التفسير. وعلى سبيل المثال، اقترح عدد من الفلكيين النظريين أن هذا الانفجار كان نتيجة تصادم كتلة مادية، كأن تكون كويكبا أو مذنباً، بنجم نوتروني قريب.

لكن سرعان ما أربكت الأرصاد هذه الفرضية، فقد سجلت السفن الفضائية المختلفة زمن وصول نبضة 1979/3 القوية، واتاحت هذه المعلومات للفلكيين بقيادة «L.T. كلاين» [من مركز كودارد للطيران الفضائي التابع للوكالة ناسا] تحديد مصدر الانبثاق، ووجد الباحثون أن ذلك الموضع يتطابق مع موضع السحابة المجالانية الكبيرة، وهي مجرة صغيرة تبعد عنا قرابة 170 ألف سنة ضوئية، وبالتحديد فقد وافق الموضع مكان بقايا مستعر أعظمي قتيّ young supernova remnant، وهو التوهج المتبقي من آثار نجم انفجر قبل خمسة آلاف سنة، وإذا لم يكن هذا الاقتران محض صدفة، فهو يضع المصدر أبعد ألف مرة عن ذلك الذي ظنه النظريون، الأمر الذي يتطلب أن يكون الانفجار أسطع من حد إدنكوتون بمليون مرة. في غضون 0.2 من الثانية، أطلق حدث الشهر 1979/3 طاقة تعادل ما تطلقه الشمس في عشرة آلاف سنة، وركزها في اشعة كاما بدلا من توزيعها عبر نطاق الطيف الكهرمغناطيسي.

ليس هناك نجم عادي يمكنه إصدار هذه الطاقة، ولهذا بات من

تحتوي مادة كتلتها أكبر من كتلة الشمس بقليل في حيز قطره 20 كيلومترا فقط. وبناء على دراسة المصادر SGRs يبدو أن لبعض النجوم النوترونية حقلا مغناطيسيا فائق الشدة لدرجة أنها تغير جذريا طبيعة المادة بداخلها والحالة الكمومية للخلاء المحيط بها، وهذا يؤدي إلى تأثيرات فيزيائية لا يمكن مشاهدتها في أي مكان آخر من الكون.

ليس من المفترض أن تفعل ذلك^(**)

لأن انبثاق الشهر 1979/3 كان شديد السطوع، اعتقد الفلكيون النظريون في ذلك الوقت أن مصدره يقع داخل مجرتنا وعلى بعد بضعة مئات من السنين الضوئية على الأكثر من الأرض. ولو كان ذلك صحيحا، لكانت شدة الأشعة السينية وأشعة كاما أقل قليلا من الحد الأقصى النظري للسطوع المستقر الذي بإمكان نجم ما أن يصدره. وتحكم هذا الحد الأعلى، الذي استنتجه الفيزيائي الفلكي البريطاني «A. إدنكوتون» في عام 1926، قوة تدفق الأشعة خلال الطبقات الخارجية الساخنة للنجم. إذا تجاوز سطوع الأشعة هذا الحد، فاقت قوتها قوة ثقالة النجم، وأبعدت المادة المتأينة، وأخلت بتوازن النجم. وبطبيعة الحال، فإن الإشعاع الأدنى من حد إدنكوتون

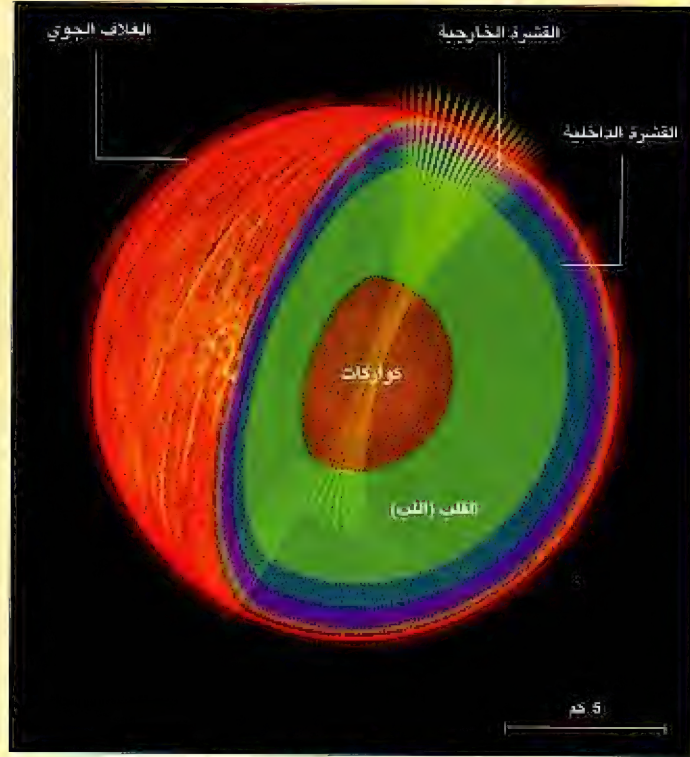
محتمل، فلا بد أن يرتد بسرعة تقدر بنحو ألف كيلومتر في الثانية لحظة ولادته، وهذه السرعة العالية كانت تعد غير اعتيادية لنجم نثروني. وفي نهاية المطاف، فإن الانفجارات نفسها بدت متعذرة التفسير. فقد رُصدت سابقاً وميضات أشعة سينية صادرة عن بعض النجوم النثرونية، لكنها لم تتعد قط حد إدينغتون، ونسب الفلكيون هذه الومضات إلى اندماج نووي حراري للهيدروجين أو الهيليوم، أو إلى تزامن مفاجئ sudden accretion للمادة باتجاه النجم، لكن سطوع انبثاقات SGR كان غير مسبوق، ومن ثم فقد بدا أن ثمة آلية فيزيائية جديدة أصبحت مطلوبة.

النباض الدوراني الأبدي

رُصدت آخر بثقة من مصدر الشهر 1979/3 في الشهر 1983/5 ولم تُرصد منه بثقات أخرى في التسعة عشر عاماً التالية. وفي عام 1979 نشط أيضاً مصدران آخران من النمط SGR، ولايزالان نشيطين، إذ أطلقا المئات من النبضات في الأعوام التالية. وقد اكتُشف مصدر رابع من

النمط SGR عام 1998. لثلاثة من هذه المصادر الأربعة ارتباطات محتملة مع بقايا مستعر أعظمي قتي، لكن هذه الارتباطات لم تثبت بعد. هناك اثنان منها يقعان أيضاً قرب حشود كثيفة لنجوم ضخمة فتية، وهذا يلحح إلى تكون المصادر SGR من هذا النوع من النجوم. وحديثاً، نشط مصدر خامس مرشح ليكون من النمط SGR لم يُصدر بثقات كما سوا مرتين فقط، لكن موقعه الدقيق لم يحدد بعد.

وفي عام 1996 توصل فريق من العلماء من المختبر الوطني بلويس الألبوس - هم «L.B. تشينك» و«J.R. إيستين» و«A.R. كاير»، و«A.C. يانك» - إلى أن بثقات المصادر من النمط SGR تشبه إحصائياً الزلازل الأرضية. فالتوزيعات الرياضية للنشاطات شديدة التشابه، إذ تحدث الانبثاقات ذات الطاقة الأقل بقدر أوفر، وقد تثبت تلميذنا «E. كوكس» [الذي يجري دراسات عليا في ألاباما بيهانتسفل] من هذا السلوك لعينة كبيرة من الانبثاقات من مصادر مختلفة. هذه الخصائص الإحصائية هي سمة مميزة لأحداث حرجية ذات تنظيم ذاتي self-organized criticality، يصل فيها نظام مركب إلى حالة حرجية تجعل أي اضطراب طفيف يؤدي إلى تفاعل متسلسل. ويحدث هذا السلوك في أنظمة شتى مثل انهيارات التلال الرملية والتوهجات المغنطيسية magnetic flares على سطح الشمس.



يمكن استنتاج التركيب الداخلي لنجم نثروني من نظريات المادة النوية nuclear matter. تحدث الزلازل النجمية star quakes على القشرة الخارجية للنجم التي تتكون من نسيج شبكي من نوى ذرية وإلكترونات. يتكون لب (قلب) النجم أساساً من النوترونات، وربما الكواركات quarks. وقد يتكون حوله غلاف جوي من البلازما الساخنة التي ترتفع فوق سطحه بضعة سنتيمترات.

يد الكنتار المتقدم في البحر، وتسعى مغنطيسيته إلى وهو يبت قدرًا ضئيلاً الطاقة.



يد النجم النباض المتقدم في العمر، ويتوقف عن حزم من الموجات



المؤكد أن المصدر شيء فوق العادة، أي ثقب أسود أو نجم نثروني. وقد استبعد الاحتمال الأول بسبب نبضان الأشعة بدور قدره 8 ثوان، فالثقب الأسود ليست له سمات مميزة، ويفتقر إلى المواصفات المطلوبة لإصدار نبضات منتظمة، ثم إن ربط مصدر الانفجار ببقايا المستعر الأعظمي أدى إلى تعزيز فكرة النجم النثروني. وثمة اعتقاد واسع بأن النجوم النثرونية تتكون عندما يستنفد نجم ضخم الكتلة - لكن عادي - وقوده النووي من قلبه، ومن ثم ينهار بسرعة بسبب وزنه محدثاً انفجار مستعر أعظمي.

إن اعتبار المصدر نجماً نثرونياً لم يحل اللغز، بل على العكس زاده غموضاً، فقد عرف الفلكيون عدة أمثلة عن نجوم نثرونية تقع داخل بقايا مستعرات أعظمية، هذه النجوم نباضات راديوية radio pulsars، وهي أجسام شوهدت تُطلق ومضات راديوية الموجة. لكن دوران مصدر انفجار الشهر 1979/3، الذي يستغرق ثمانين ثوان ليدور مرة حول نفسه، أبداً بكثير من أي نباض راديوي معروف. كذلك ففي الوقت الذي لم يكن فيه مصدر الانبثاق يرسل ومضات كما، كان هذا المصدر يرسل ومضات من الأشعة السينية على نحو منتظم، وهذا يتطلب طاقة أكبر من تلك التي توفرها الحركة الدورانية لنجم نثروني. ومن المستغرب أن النجم كان مُراحاً إزاحة شديدة عن مركز بقايا المستعر الأعظمي. فإذا وُلد النجم في المركز، وهذا شيء

كيف تحدث انفجارات المكنيتارات

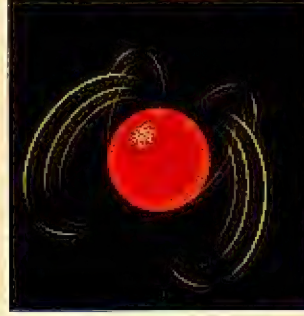
الحقل المغنطيسي لمكنيتار قوي إلى درجة تؤدي إلى تشقق قشرته وتفتيتها أحيانا، مطلقا شرا كبيرا من الطاقة.



1 يكون المكنيتار هادئا معظم الوقت. لكن الإجهادات المغنطيسية تتراكم ببطء.



2 وفي مرحلة ما، تتجاوز الإجهادات التي تتعرض لها القشرة حدودها. عند ذلك تتكسر القشرة، وربما تتحول إلى عدد كبير من القطع.



3 يولد هذا الزلزال النجمي تيارا كهربائيا قويا جدا، ثم يضمحل مخلفا وراءه كرة نارية حارة.



4 تبرد الكرة النارية بوساطة إطلاقها أشعة سينية من سطحها، ثم تتبخّر في دقائق، أو أقل.

لمعظم الفلكيين أن الحقل المغنطيسي هو أثر النجم قبل تحوله إلى مستعر أعظمي. إن لجميع النجوم في حالتها العادية حقولا مغنطيسية ضعيفة، ومن الممكن أن تقوى هذه المجالات بفعل الانضغاط. ووفقا لمعادلات ماكسويل في الكهرومغنطيسية، فعند تقلص جسم ممغنط إلى نصف حجمه الأصلي، فإن شدة حقله المغنطيسي تتضاعف أربع مرات. ولما كان حجم اللب core الداخلي لنجم ضخم يصغر عند تحوله إلى نجم نتروني 10^5 مرة، فإن شدة حقله المغنطيسي تكبر 10^{10} مرة.

وإذا كان الحقل المغنطيسي لللب النجم قويا بدرجة كافية في البداية، فإن هذا الانضغاط يمكن أن يفسر مغنطيسية النجم النباض. لكن، لسوء الحظ، لا يمكن قياس الحقل المغنطيسي في أعماق النجم، لذا يصعب اختبار هذه الفرضية البسيطة. هناك أيضا أسباب وجيهة تدعو للاعتقاد بأن الانضغاط ليس سوى جزء من القصة.

يمكن للغازات أن تتحرك دائريا داخل النجم بفعل الحمل الحراري convection، فترتفع الأجزاء الساخنة من الغازات المتأينة في حين تهبط أجزاؤها الباردة. ولأن الغازات المتأينة موصلة جيدة للكهرباء، فأي خطوط للحقل المغنطيسي تتخلل الغازات، تتساق معها أثناء الحركة. لذا يمكن للحقل أن يتطور ويقوى أحيانا. تُعرف هذه الظاهرة باسم «فعل الدينامو» Dynamo Action، ويُعتقد أنها المسؤولة عن توليد الحقول المغنطيسية للنجوم والكواكب. قد يكون فعل الدينامو مؤثرا في كل مرحلة من حياة النجم تدور خلالها أجزاؤه الداخلية المضطربة بسرعة كافية. إضافة إلى ذلك، يشتد الحمل الحراري بوجه خاص خلال مدة قصيرة تعقب تحول لب النجم إلى نجم نتروني.

أظهر ذلك أول مرة عام 1986 في محاكاة حاسوبية أجراها «أ. باروز» [من جامعة أريزونا] و«إم. إم. لايمير» [من جامعة نيويورك في ستوني بروك] إذ وجدوا أن درجات الحرارة داخل نجم نتروني حديث الولادة تتجاوز 30 بليون درجة كلفن، وأن المائع النووي الساخن

لكن لماذا يتصرف نجم نتروني على هذا النحو؟ اثبتت الحل من خط عمل مختلف تماما، ألا وهو النباضات الراديوية radio pulsars التي يُعتقد على نطاق واسع أنها نجوم نترونية ممغنطة سريعة الدوران. إن الحقل المغنطيسي لهذه النجوم (الذي تسانده تيارات كهربائية تنساب في أعماق النجم) يدور مع النجم، وهذا يؤدي إلى انبعاث أحزمة من الموجات الراديوية من القطبين المغنطيسيين للنجم، وبدورانها مع النجم، تجتاح هذه الموجات الفضاء، تماما كضوء منارات السفن، ومن هنا تأتي النبضات المرصودة. يطلق النجم النباض أيضا دفقة من الجسيمات المشحونة والموجات الكهرومغنطيسية المنخفضة التردد التي تستقطع بدورها طاقة وزخما زاوياً angular momentum من النجم، وهذا يتسبب في انخفاض معدل دورانه تدريجيا.

لعل النجم النباض الأكثر شهرة هو الكامن في سديم السرطان crab nebula، وهو بقايا انفجار مستعر أعظمي شهده عام 1054. يدور هذا النجم حول نفسه مرة كل 33 ملي ثانية، ويتباطأ دورانه بفعل 1.3 ملي ثانية لكل قرن. وبإجراء استقراء تراجعي لتغير سرعة دورانه وفق هذا المعدل، يتبين أن النجم قد وُلد وهو يدور حول نفسه مرة كل 20 ملي ثانية. ويتوقع الفلكيون أن يستمر النجم في التباطؤ إلى أن يبلغ معدل دوران بطيء جدا لا يكفي لإصدار نبضات راديوية. لقد قيس معدل تباطؤ التدويم spin-down rate لجميع النباضات الراديوية تقريبا، وتشير الدراسات النظرية إلى اعتماده على شدة الحقل المغنطيسي للنجم. ومن هذه العلاقة، استنتج أن الحقل المغنطيسي لغالبية النباضات الراديوية الفتية يقع بين 10^{12} و 10^{10} كاوس. وبغية المقارنة، فإن قوة مغنطيس الثلاجة قاربة 100 كاوس.

فرن الحمل الحراري الأعظم^(١٠٠)

تترك هذه الصورة سؤالا أساسيا من دون جواب وهو: من أين انطلق هذا الحقل المغنطيسي في البداية؟ لقد كان الافتراض المعهود

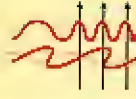
مغناطيسية متطرفة⁽¹⁾

للحقول المغناطيسية تأثير مريك في الإشعاع والمادة

الانكسار الثنائي للخلاء

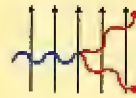
تغير الموجات الضوئية المستقطبة [اللون البرتقالي]

سرعتها، ومن ثم أطوالها الموجية، وذلك عند دخولها حقلا مغناطيسيا قويا جدا.



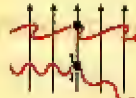
انقسام الفوتونات

الأثر الناتج عن ذلك هو أن الأشعة السينية إما أن تنقسم إلى تسمين، وإما أن تندمج معا. وهذه العملية مهمة في الحقول التي هي أقوى من 10^{14} كاوس.



إخماد التبعثر

يكن لوجة ضوئية أن تنسل عبر إلكترون [الدائرة السوداء]، مواجهة إعاقه طفيفه إذا منع الحقل الإلكترون من الانعزاز مع الموجة.



تشويه الذرات

إن الحقول التي هي أقوى من 10^9 كاوس تضغط مدارات الإلكترونات لتتخذ أشكال سيكار cigar. وفي حقل قوته 10^{14} كاوس، تضيق ذرة الهيدروجين في وسطها 200 مرة.



تعطي SGRs اسمها.

وفي حالات نادرة، يصبح الحقل المغناطيسي غير مستقر، ومن ثم يخضع لإعادة تنظيم على نطاق واسع. وأحيانا تحدث انتفاخات عملاقة في الشمس، ولكن بدرجة أقل مسببة توهجات (تفجرات) شمسية solar flares. ولدى المكثبات طاقة كافية تمكنه بسهولة من إنتاج توهج هائل مثل الذي حدث في الشهر 1979/3. وتبين النظرية أن نصف الثانية الأولى من زمن هذا الانفجار الضخم جاء من كرة نارية متمددة. وفي عام 1995 اقترحنا أن جزءا من الكرة النارية احتُجزَ بواسطة الحقل المغناطيسي قريبا من سطح النجم. وتدرجيا انكمشت هذه الكرة وتبخرت مطلقة أشعة سينية طوال الوقت. واستنادا إلى كمية الطاقة المحررة فقد قدرنا قوة الحقل المغناطيسي الضرورية لاحتواء الضغط الهائل للكرة النارية بأعلى من 10^{14} كاوس. ويتفق هذه النتيجة مع قوة الحقل المستنتجة من معدل تناطؤ التدويم spin-down rate.

وفي عام 1992 قدم «B. باشينسكي» [من جامعة برنستون] تقديرا مستقلا عندما لاحظ أن الأشعة السينية تنساب بسهولة أكبر خلال سحابة من الإلكترونات عندما تكون الجسيمات المشحونة متمددة في حقل مغناطيسي شديد القوة. فلكي تكون الأشعة السينية شديدة السطوع خلال الانفجار، لا بد للحقل المغناطيسي أن يكون أقوى من 10^{14} كاوس.

وما يجعل النظرية أكثر غموضا هو أن هذه الحقول أقوى من الحد الأعلى لشدة الحقل في النظرية الكهرودينامية الكمومية quantum electrodynamics وهو 4×10^{13} كاوس. وفي حقول قوية كهذه، تحدث ظواهر غريبة، فقد تنقسم فوتونات الأشعة السينية إلى قسمين أو قد تندمج معا. ويصبح الخلاء نفسه مستقطبا وثنائي الانكسار تجاه الضوء مثل بلورات الكالسيت، هذا وتتشوه الذرات

يدور داخل النجم مرة كل 10 ملي ثانية، أو أقل، حاملا كمية هائلة من الطاقة الحركية. وبعد نحو 10 ثوان يتوقف الحمل الحراري. وبعد مدة ليست بالطويلة من إجراء «باروز» و«لاتيمير» محاكاتها الأولى، قام «دانكن» و«طومسون» [الذان كانا بجامعة برنستون في ذلك الوقت] بتقدير ما يعنيه ذلك الحمل الحراري الهائج لمغناطيسية النجم النتروني. ويمكن للشمس، التي تمر بمرحلة هادئة من العملية نفسها، أن تكون مرجعا. فائناء دوران المانع النووي داخل الشمس، يسحب معه خطوط الحقل المغناطيسي، ويتخلل له عن زهاء 10 في المئة من طاقته الحركية. وبالمثل، فلو أن المانع المتحرك داخل نجم نتروني يتخلل عن عشر طاقته الحركية إلى الحقل المغناطيسي، لازدادت شدة الحقل لتتجاوز 10^{14} كاوس، وهي أقوى بكثير من ألف مرة من شدة حقول معظم النباضات الراديوية.

يعتمد أداء فعل الدينامو داخل النجم كله (لا داخل مناطق محدودة منه) على كون معدل دوران النجم قريبا من معدل دوران تيارات الحمل الحراري، ويكون هذان المعدلان متماثلين داخل أعماق الشمس، حيث يستطيع الحقل المغناطيسي أن ينظم نفسه على نطاقات واسعة. وقياسا على ذلك، فإذا ولد نجم نتروني بمعدل دوران أسرع أو مساو لدور تيارات الحمل الحراري (10 ملي ثانية)، فباستطاعته إحداث حقل مغناطيسي فائق القوة واسع الانتشار. وفي عام 1992، أسميننا هذه النجوم النترونية الافتراضية مكثبات magnetars.

يُقدر الحد الأعلى لمغناطيسية نجم نتروني بنحو 10^{17} كاوس؛ وإذا جرى تجاوز هذا الحد، فإن المانع النووي داخل النجم يختلط، ومن ثم يتبدد الحقل. ليست هناك أجسام معروفة في الكون بإمكانها توليد حقول تتجاوز هذا المستوى، ثم الحقاظ عليها. أحد تفرعات نظريتنا هو أن النباضات الراديوية نجوم نترونية فشل فيها تأثير الدينامو الواسع النطاق في العمل. في حالة نباض السرطان، يدور النجم النتروني الحديث الولادة مرة كل 20 ملي ثانية، وهذا أبطأ بكثير من معدل دوران الحمل الحراري، لذلك فإن الدينامو لم يعمل قط.

تألا وتجعّد أيها المكثبات الصغير⁽²⁾

مع أننا لم نبتكر فكرة المكثبات لشرح مصادر SGRs فإن تضميناتها سرعان ما أصبحت واضحة لنا. يعمل الحقل المغناطيسي ككوابح قوي لدوران المكثبات، ففي غضون خمسة آلاف سنة، سوف يبطئ مجال مغناطيسي شدته 10^{15} كاوس من معدل دوران النجم السريع إلى دورة واحدة كل ثنائي ثوان، وهذا يفسر بدقة الذبذبات التي رُصدت خلال انفجار الشهر 1979/3.

ويتطور الحقل، بتغير هيئته دافعا تيارات كهربائية على طول خطوط الحقل خارج النجم. وهذه التيارات بدورها، تولد أشعة سينية. وفي غضون ذلك، ومع تحرك الحقل المغناطيسي عبر القشرة الصلبة للمكثبات، فإنه يحدث اتحناءات واستطالات في قشرة النجم. تسفر هذه العملية عن تسخين الجزء الداخلي للنجم، ومن حين إلى آخر، تنشلق القشرة محدثة زلزالا نجميا قويا. تحدث الطاقة المغناطيسية المحررة المصاحبة لهذا الزلزال سحابة كثيفة من الإلكترونات والبوزيترونات، إضافة إلى انفجار مفاجئ لأشعة كاما اللينة soft gamma rays، وهذا يفسر الانبثاقات الأقل حدة التي

لتتخذ أشكالا أسطوانية طويلة أكثر دقة من الطول الموجي الكمومي النسبي quantum-relativistic wavelength للإلكترون [انظر الشكل في الصفحة 57]. ولجميع هذه الظواهر الغريبة تأثيرات يمكن مشاهدتها في المكثبات. ولأن هذه الفيزياء غريبة جدا فقد جذبت النظرية عددا صغيرا من الباحثين في ذلك الوقت.

انطلق مرة أخرى^(*)

حينما كانت هذه التطورات النظرية تظهر للعيان ببطء، ظل الفلكيون يناضلون لرؤية الأجسام التي هي مصادر هذه الانبثاقات. وقد سنتحت الفرصة الأولى عندما سجل مرصد Compton Gamma Ray observatory التابع للوكالة ناسا بثقة في الشهر 1993/10. كانت هذه هي الفرصة التي تنتظرها «كوكليوتو» عندما انضمت إلى فريق مرصد Compton في مدينة هانتسفيل. استطاع المرصد تحديد مكان الانفجار، لكن في حيز واسع من السماء. طلبت «كوكليوتو» المساعدة من الساتل الصناعي الياباني ASCA، ووجد <T> مراكامي مع معاونيه [من معهد علوم الفضاء والملاحة الفضائية الياباني] أن هناك مصدرا للأشعة السينية في الحيز نفسه. ظل المصدر يبت المستوى نفسه من الإشعاع، إلى أن أطلق انبثاقا آخر مثبتا بما لا يدعو للشك أنه من النوع SGR. وقد شوهد المصدر نفسه أول مرة في عام 1979، وبناء على إحدائياته السماوية التقريبية، أطلق عليه اسم SGR 1806-20. والآن، جرى تعيين موقع النجم بدقة أعلى، وهذا يمكن من مراقبة أنشطته عبر الطيف الكهرمغناطيسي.

جاءت الطفرة التالية عام 1995 عندما أطلقت الوكالة ناسا المستكشف Rossi X-ray Timing Explorer (RXTE)، وهو ساتل صمم ليكون بالغ الدقة والحساسية لقياس التغيرات في الأشعة السينية. وباستخدام هذا المرصد، وجدت «كوكليوتو» أن البث من SGR 1806-20 يتذبذب بزمان دوري قدره 7.47 ثانية، وهذا يجعله قريبا على وجه مدهش من التذبذب ذي الثماني ثوانٍ، الذي رصد في انبثاق الشهر 1979/3 (من SGR 0526-66). وفي غضون خمس سنوات تباطأ دوران (تدويم) هذا المصدر (SGR) اثنين في الألف، ومع أن مقدار هذا التباطؤ قد يبدو صغيرا، فهو أسرع من أي نباض راديوي معروف، ويستلزم حقلا مغناطيسيا يقارب 10^{15} كاوس.

تتطلب الاختبارات الأكثر دقة لنموذج المكثبات توهجا ضخما آخر. ولحسن الحظ، استجابت السماء بسرعة. ففي الصباح الباكر من 1998/8/27 بعد 19 عاما من التوهج الضخم الذي كان وراء بداية معرفة علم الفلك للمصادر SGR، وصلت الأرض موجة أشد من أشعة كاما والأشعة السينية قادمة من أعماق الفضاء. ودفعت هذه الأشعة كاشفات الإشعاع على متن سبع سفن فضائية علمية إلى أعلى معدلات القياس، أو تجاوزت الحدود القصوى للمقياس. وفي إجراء وقتاني أجبر أحد مسابير ناسا وهو Comet Rendezvous Asteroid Flyby على التوقف عن العمل. لقد ضربت أشعة كاما الجانب المظلم للأرض حيث كان سمتُ zenith مصدرا فوق منتصف المحيط الهادئ.

ومصادفة، كان المهندس عمران عنان وزملاؤه [من جامعة ستانفورد] يجمعون بيانات عن انتشار موجات راديوية ذات تردد منخفض جدا حول الأرض. وفي الساعة الثالثة والدقيقة 22 صباحا

بتوقيت غرب الولايات المتحدة لاحظوا تغيرا مفاجئا في الطبقة العليا الثانية للغلاف الجوي. فقد هبطت الحافة الداخلية لطبقة الأيونوسفير atmosphere من ارتفاع 85 كيلومترا إلى 60 كيلومترا وظلت هكذا مدة خمس دقائق. كان ذلك مدهشا حقا، فقد سبب هذا التأثير في كوكبيتا نجم ثنوتوني من المجرة على بعد عشرين ألف سنة ضوئية.

أعجوبة أخرى للمكثبات^(**)

كان انفجار 1998/8/27 نسخة طبق الأصل من توهج الشهر 1979/13. وبصفة أساسية، فقد كانت قوته عثر قوة بثقة الشهر 1979/3، لكن لما كان مصدر التوهج أقرب إلى الأرض، فقد كان أشد توهج مرصود لأشعة كاما من بين الانفجارات التي أتت من خارج المنظومة الشمسية. وقد أظهرت بقع المئات الأخيرة من الثواني من التوهج بذبات واضحة دورها 5.16 ثانية. لقد قامت «كوكليوتو» وفريقها بقياس معدل تباطؤ تدويم النجم باستخدام المرصد RXTE، ومن المؤكد أن النجم SGR 1900+14 كان يتباطأ بمعدل مقارب لمعدل تباطؤ المكثبات SGR 1806-20، مشيرا إلى حقل مغناطيسي قوي ذي شدة مماثلة. وبذلك دخل نجم جديد من النوع SGR دائرة الشهرة.

لقد سمح التحديد الدقيق لمواقع SGR في الأشعة السينية بدراستها باستخدام المقاريب الراديوية ومقاريب الأشعة تحت الحمراء. وقد استحدثت هذه التقنية العديد من الفلكيين لاسيما <D> فريل [من المرصد الوطني للفلك الراديوي] و<S> كولكرني [من معهد كاليفورنيا للتقانة]. وأظهرت أرصاد أخرى أن جميع مصادر SGRs الأربعة مستمرة في إطلاق طاقة ضعيفة (الأشعة السينية) تتخلل انفجارات كاما. وكلمة «ضعيفة» هنا نسبية، لأن هذه الأشعة السينية أقوى مما تصدره الشمس منها في الضوء المرئي بين 10 و 100 مرة.

يمكن الآن القول إن الحقول المغناطيسية للمكثباتات تقاس بطريقة أفضل من قياس الحقول المغناطيسية للنباضات. ففي النباضات المنعزلة يأتي الدليل الوحيد على وجود حقول شدتها 10^{12} كاوس من معدل تباطؤ التدويم. وبالمقابل، فإن اتحاد معدل تباطؤ التدويم العالي والتوهجات الساطعة للأشعة السينية يعطي حجبا مستقلة على وجود حقول بقوة 10^{15} كاوس في المكثباتات. وخلال إرسال هذه المقالة إلى المجلة قدم «علاء إبراهيم» ومعاونوه [من مركز كودارد للطيران الفضائي التابع للوكالة ناسا] مجموعة أخرى من الأدلة على وجود حقل مغناطيسي قوي في المكثباتات متمثل بخطوط طيفية للأشعة السينية تبدو منبعثة من بروتونات تدور في مجال قدره 10^{15} كاوس.

وهناك تساؤل مثير للاهتمام، وهو يدور حول ما إذا كانت المكثباتات مرتبطة بظواهر كونية أخرى إضافة إلى مصادر SGRs. وعلى سبيل المثال، هناك فئة من انبثاقات أشعة كاما القصيرة الأمد من نوع GRB التي لم تفسر بعد بطريقة مقنعة، ويمكن على الأقل لعدد قليل منها أن تكون توهجات مكثباتات في مجرة أخرى. فحتى إذا شوهد توهج هائل من مسافات بعيدة، فسوف يكون قريبا من حدود حساسية المقاريب، وسوف تُسجل فقط الومضة الساطعة القصيرة الأمد من أشعة كاما الشديدة، وتصنف على أنها انبثاقات من النوع GRB.

يتعاونون في دراسة المكنيتارات منذ خمس سنوات، وخبرتهم الإجمالية في هذا المجال نحو 40 عاماً. تعمل الرابضة «كوفيليتو» في المركز القومي لعلوم الفضاء والتقانة بيهانتسفل في ولاية ألاباما. وإضافة إلى دراستها لنجوم SGR فهي تهتم أيضاً بدراسة انبثاقات أشعة كاما Gamma Ray Bursts وانبثاقات الأشعة السينية X-ray Binaries، وتشمل هواياتها علوم الآثار واللغويات. يعمل «دانكنز» في جامعة تكساس بأوستن، أما «طومسون» فيعمل في المعهد الكندي للفيزياء الفلكية النظرية بتورنتو. درس «دانكنز» المستعرات الأعظمية والحالة المادية للكواركات quark matter والسحب الغازية بين المجرات. وتتعدد أبحاث «طومسون» من دراسة الأوتار الكونية cosmic strings إلى الارتباطات الكبيرة في المراحل المبكرة للمنظومة الشمسية.

اكتشافات جديدة

شهد عام 2004 حدثين مهينين لنجوم المكنيتار اشتبلا على اكتشاف نوع جديد من هذه النجوم ورصد توهج هائل من نوع Giant Flare.

■ في 2004/12/27 أطلق المكنيتار SGR 1806-20 توهجا هائلا من نوع Giant Flare هو الثالث من هذه النوعية بعد انفجاري 1979/3/5 و 1998/3/27. كان ذلك الانفجار الأكبر من حيث الطاقة وشدة اللعنان وقد صُنف بأنه أقوى انفجار كوني على الإطلاق [انظر: "In Focus," Scientific American, June 2005]. وقد قام مرصد SWIFT الحديث التابع لوكالة ناسا برصد الانفجار وأكد الباحثون في المختبر الوطني بولس لاموس أن طاقة الانفجار تجاوزت طاقة نظيره السابقين بأكثر من 100 ضعف، الأمر الذي جعله أشد إضاءة من القمر!

■ في أوائل عام 2004 تم الإعلان عن اكتشاف نوع جديد من المكنيتارات أطلق عليها المكنيتارات الموهجة transient magnetars. يظل هذا النوع من النجوم النترونية خامدا لفترات طويلة تقدر بعشرات السنين، مما يجعلها دون مستوى الرصد، ثم تنشط فجأة لفترات وجيزة، يدل هذا الاكتشاف الذي قام به «علاء إبراهيم» ورفاقه من مركز ناسا كودارد لطيران الفضاء على تضاعف أعداد نجوم المكنيتارات في مجرتنا وعلى إمكانية تتبع دورة حياتها في أطوارها المختلفة [انظر: <http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/features/news/28jan2004.htm> (<http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2004/0105magnetar.html>) (التحرير)]

مراجع للاستزادة

Formation of Very Strongly Magnetized Neutron Stars: Implications for Gamma-Ray Bursts. Robert C. Duncan and Christopher Thompson in *Astronomical Journal*, Vol. 392, No. 1, pages L9-L13; June 10, 1992. Available at makeashorterlink.com/?B16A425A2

An X-ray Pulsar with a Superstrong Magnetic Field in the Soft Gamma-Ray Repeater SGR1806-20. C. Kouveliotou, S. Dieters, T. Strohmayer, J. Von Paradijs, G. J. Fishman, C. A. Meegan, K. Hurley, J. Kommers, I. Smith, D. Frail and T. Murakami in *Nature*, Vol. 393, pages 235-237; May 21, 1998.

The Life of a Neutron Star. Joshua N. Winn in *Sky & Telescope*, Vol. 98, No. 1, pages 30-38; July 1999.

Physics in Ultra-strong Magnetic Fields. Robert C. Duncan. Fifth Huntsville Gamma-Ray Burst Symposium, February 23, 2002. Available at arxiv.org/abs/astro-ph/0002442

Flash! The Hunt for the Biggest Explosions in the Universe. Govert Schilling. Cambridge University Press, 2002.

More information can be found at Robert C. Duncan's Web site: solomon.as.utexas.edu/magnetar.html

وفي منتصف التسعينات، اقترح «طومسون» و«دانكنز» أن بإمكان نموذج المكنيتار أن يفسر أيضا نباضات الأشعة السينية الشاذة (AXPs)، وهي نوع من النجوم التي تشبه نجوم SGRs في أوجه عدة. كانت الصعوبة الوحيدة التي واجهت هذه الفكرة أننا لم نشاهد انفجارات من هذه المصادر. لكن «M.V. كاسبي» و«P.F. كافريل» من جامعة ماكجيل [M.P. وودز] من المركز الوطني للفضاء والتقانة بمدينة هانتسفل تمكنوا حديثاً من رصد انبثاقات من مصدرين من النباضات السبعة AXPs المعروفة. أحد هذه النجوم مقترن ببقايا مستعر أعظمي حديث في كوكبة ذات الكرسي cassiopeia.

هناك نباض AXP آخر في الكوكبة نفسها هو أول مرشح ليكون مكنيتاراً رصد نشاطه في الضوء المرئي. لقد لاحظ ذلك قبل ثلاث سنوات «J. هولمان» و«M. شان كيركويك» من جامعة أوترخت [ب هولندا] بالتعاون مع «Sh. كولكرني». ومنذ ذلك الحين، يقوم «B. كيرن» و«C. مارتن» من معهد كاليفورنيا للتقانة برصد سطوع هذا النجم في الضوء المرئي. وعلى الرغم من خفوت ضوءه إلى حد بعيد، فإنه ينبض في الضوء المرئي بنفس دور الأشعة السينية المنبعثة من هذا النجم النتروني. تدعم هذه الأرصاد فكرة أن هذا النجم هو حقاً مكنيتار. ويتنبأ البديل الرئيسي لنموذج المكنيتار - أي إن النباضات AXPs نجوم نترونية عادية محاطة بأقراص من المادة - بكمية مفرطة من الإشعاعات المرئية وتحت الحمراء ذات نبضات ضعيفة جداً.

وعلى ضوء هذه الاكتشافات الحديثة والهدوء الظاهري للمكنيتار الكامن في السحابة الماجلانية الكبيرة طوال عشرين عاماً تقريباً، يبدو أن المكنيتارات قادرة على أن تغير رداءها لتبقى ساكنة سنين أو عقوداً قبل أن تمر بفترات مفاجئة من النشاط المفرط. ويحاج بعض الفلكيين في أن النباضات من النوع AXP أصغر عمراً في المتوسط من النجوم SGRs، لكن هذا الأمر لا يزال محل جدل. فإذا كان كلاهما من نوع المكنيتار، فمن المقبول أن تكون هذه النجوم جزءاً جوهرياً من مجنوع النجوم النترونية في الكون.

تعتبر قصة المكنيتار تذكرة واقعية لنا بأن الإنسان مازال يجهد الكثير عن الكون. فحتى الآن، لم نكتشف سوى قلة من المكنيتارات من بين عدد لا نهائي من النجوم. تُعلن هذه النجوم عن نفسها خلال جزء من الثانية، وفي ضوء لا تستطيع رصده إلا أشد المقاريب تطوراً وتعقيداً. وخلال عشرة آلاف عام، ستفنى الحقول المغنطيسية للمكنيتارات وتتوقف عن إصدار الأشعة السينية الساطعة. لذا فهذه الدسنة المعروفة من المكنيتارات تُفشي سر وجود أكثر من مليون، وربما ستة ملايين مكنيتار قديم، انطفأ توهجها قبل زمن طويل. وتجوب هذه العوالم الغريبة من المكنيتارات الخامدة المعتمدة الفضاء البينجمي. تُرى، كم من الظواهر الكونية الأخرى الشديدة الندرة والسريعة الزوال، التي لم نعرفها بعد، تتوارى عنا في ذلك الفضاء؟ ■

داخل دماغ إنسان ذاكرته خارقة^(*)

يمتلك <كيم بيك> واحدة من أعجب الذاكرات التي عُرفت حتى الآن.
وقبل أن تتمكن من تفسير إمكاناته، لا يمكننا أن ندعي فهمنا المعرفة البشرية.

<A.D>، ترقيت - <D.D>، كوستنس

تتخذ ذاكرة <كيم> لتشمل ما لا يقل عن 15 موضوعا تتناول فيما تتناول تاريخ العالم، تاريخ أمريكا، الرياضيات، الأفلام، السينمائية، الجغرافيا، برامج الفضاء، الممثلين والممثلات، الإنجيل وتاريخ الكنيسة، الآداب، شكسبير، والموسيقى الكلاسيكية. إنه يعرف كودات المناطق والكودات البريدية في الولايات المتحدة إلى جانب محطات التلفزة التي تغطي هذه المواضيع. إنه يعرف كذلك الخرائط الموجودة في مقدمات أدلة الهاتف ويستطيع أن يروي تعليمات السفر كذلك التي ترد في موقعياهو Yahoo بالنسبة إلى أي مدينة في الولايات المتحدة أو بين كل مدينتين. إنه يستطيع تمييز مئات المؤلفات الموسيقية الكلاسيكية وزمان ومكان نظمها وتنفيذها لأول مرة، وكذلك اسم من نظمها والعديد من تفاصيل سيرهم الذاتية، وحتى مناقشة المكونات النغمية والمنهجية للقطع الموسيقية. ولعل ما هو أكثر إثارة أنه حاليا أخذ على ما يبدو تطوير مهارة جديدة في منتصف العمر. فبينما كان من قبل يستطيع مجرد التحدث في الموسيقى، فإنه في السنتين الماضيتين أخذ يتعلم عزفها.

إن هذا إنجاز مذهل في ضوء مشكلاته الخلقية الشديدة، التي تعد خصائص يتشارك فيها بدرجات متفاوتة جميع أصحاب الذاكرات الخارقة. فهو يشي مشية مائلة ولا يستطيع أن يزرر ثيابه ولا أن يتدبر أعماله الروتينية اليومية، كما يلاقي صعوبات في التجريد abstraction. وفي مقابل هذه العاهات، فإن مواهبه، التي تتفوق على نحو استثنائي على مثيلاتها لدى أي شخص، تشرق أي ما إشراق. وتفسير الطريقة التي يؤدي بها <كيم> أفعاله قد توضح بصورة أفضل لم تحدث مهارات معينة (بما في ذلك تلك المهارة الغامضة المعتادة في حساب المفكرة calendar calculating التي تصحب على الدوام الذاكرة الضخمة) بمثل هذا الانتظام بين أصحاب الذاكرات الخارقة. ومؤخرا، حينما قال له شخص كان قد أجرى مقابلة معه بأنه ولد في 1956/3/31، قال له <كيم> في أقل من

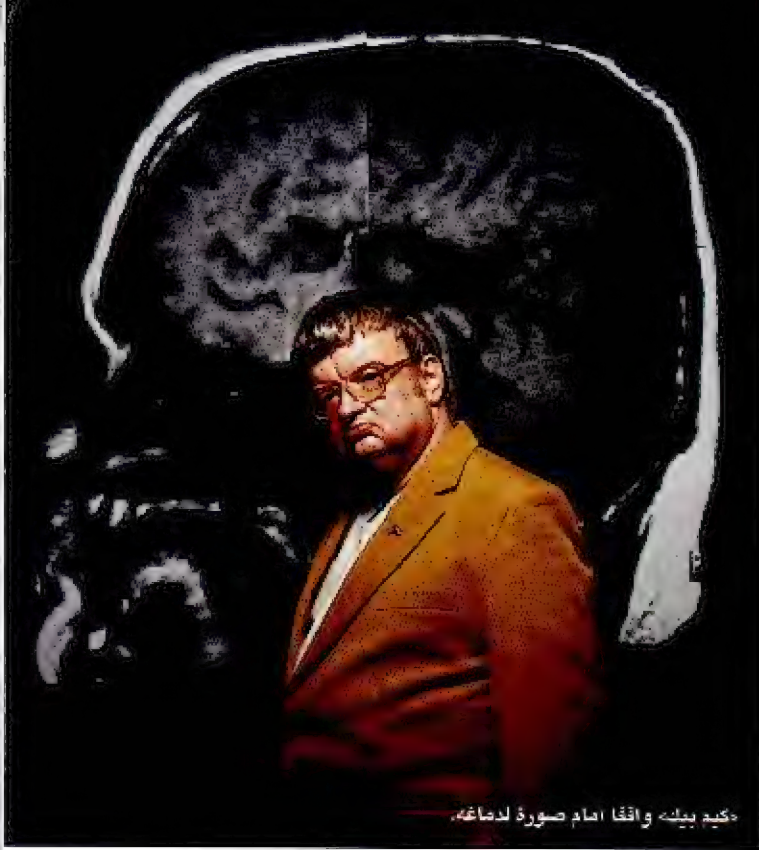
يوم وصف <L.D> داوون< متلازمة الذاكرة الخارقة savant syndrome في عام 1887 وأعطاهما اسمها ولاحظ ارتباطها بقدرات مذهلة في الذاكرة، استشهد بمريض استطاع سرد نص إدوارد <كيبون> حول <أفول الإمبراطورية الرومانية وسقوطها>. ومنذ ذلك جرى ربط هذه الذاكرة الخارقة بأحد المجالات مثل الموسيقى أو الفن أو الرياضيات. ولكن هذه الذاكرة الاستثنائية هي نفسها مهارة رجل عمره أربع وخمسون سنة يدعى <كيم بيك> ويدعو أصدقائه <كيم - بيوتر>⁽¹⁾.

يستطيع <كيم> في الواقع، أن يستحضر فعلا من مكتبته الذهنية بسرعة تعادل سرعة استحضار ماكينة البحث عن المعلومة في الإنترنت. لقد قرأ كتاب <T> كلانسي> بعنوان The hunt for red October في ساعة وخمس وعشرين دقيقة، ولدى سؤاله بعد ذلك بأربعة أشهر، أعطى اسم مشغل الراديو الروسي المذكور في الكتاب مشيرا إلى الصفحة التي تصف ذلك الشخص ومقتبسا منه بضع فقرات بنصها الحرفي. لقد بدا <كيم> يتذكر الكتب وهو في عمر الثمانية عشر شهرا بالنص الذي قُرئ، له. وقد تعلم تسعة آلاف كتاب عن ظهر قلب حتى الآن. إنه يقرأ صفحة في ثمانين ثوان إلى عشر ويضع الكتاب مقلوبا رأسا على عقب في رفوف المكتبة للدلالة على استظهاره إياه في سواقته hard drive العقلية.

نظرة إجمالية/ قمم بيك⁽²⁾

- تسري قوى ذاكرة حائلة في كل ظاهرة معروفة لمهارة ترتبط بمتلازمة الذاكرة الخارقة. وفي حالة <كيم بيك> فإن الذاكرة هي بحد ذاتها المهارة.
- يبدي دماغ <كيم> عدة شذوذات، بما في ذلك غياب الجسم البطني. ويبقى ذلك الشذوذ الخاص في حالة <كيم> بحاجة إلى تفسير، ولكنه يثير سؤالا ثابره المهارات المرتبطة بتلك المتلازمة ومفاده: هل يتنبه العطل الدماغي ثانيا معاوضا في منطقة أخرى من الدماغ، أم إنه يتيح فقط بروز قدرات كاملة كانت حاججة؟
- لقد تطور لاحقا تعلم <كيم> عن ظهر قلب إلى شكل من التفكير الترابطي ذي دلالة واضحة على الإبداع. ومن ثم ساعده نجاحه على أن ينخرط في العالم الأوسع، ويستنتج المؤلفان أن مهارات متلازمة الذاكرة الخارقة لا يجوز أبدا إغفالها، بل يجب تنميتها لصالح النمو الفكري والاجتماعي للمريض.

(*) العنوان الأصلي: INSIDE THE MIND OF A SAVANT فهذا التغيير في العنوان الأصلي أصلاه مضمون المقالة وجدير بالذكر أن المترادفات الإنكليزية لكلمة savant هي: scholar, learned man, giant of learning, colossus of knowledge, mine of information, walking encyclopedia.
Overview / Peak's Peaks (==)
Kim/Puter (1)



«كيم بيته واقفا امام صورة لدماغه»

تقودنا الناحية النظرية في اتجاه واحد وهو كون دماغ «كيم» يبدى شذوذاً في نصف الكرة المخية الأيسر، وهذا نموذج يلاحظ لدى العديد من أصحاب الذاكرات الخارقة. وأكثر من ذلك، فقد اعتبر عُطلُ النصف المخي الأيسر تفسيراً لكون الذكور أكثر احتمالاً من الإناث ليس فقط لامتلاك ذكريات خارقة وإنما أيضاً لإظهار خلل القراءة dyslexia والتأتأة stuttering وتأخر النطق والذاتوية (التوحد) autism. وتتضمن الآلية المقترحة لذلك منحنيين اثنين: أولهما امتلاك الأجنة الذكرية مستوى عالٍ من التستوستيرون الجوال في الدم بحيث تكون سامة لفسخ الدماغ المتنامية، والآخر أن النصف المخي الأيسر يتنامى بشكل أبطأ من نمو النصف المخي الأيمن فيبقى لذلك عطوياً مدة أطول. وكذلك تؤيد دور أذية النصف المخي الأيسر حالات متلازمة الذاكرة الخارقة المكتسبة acquired savant syndrome التي ذكرت تقارير عديدة حول الظهور المفاجئ لذاكرات خارقة لدى أطفال كبار وبالغين عقب إصابتهم بإذية في نصف الكرة المخية الأيسر.

ماذا يعني هذا الدليل ضمناً؟ ثمة إمكانية بأن النصف المخي الأيسر حينما لا يستطيع أن يعمل كما ينبغي، يقوم النصف المخي الأيمن بالتعويض عنه عبر مهارات جديدة، ربما عن طريق تجنيد سُج دماغية تكون في الحالة السوية معدة لأغراض أخرى. وثمة إمكانية أخرى تتمثل في أن عطل النصف المخي الأيسر يكشف مهارات كانت كامنة في النصف المخي الأيمن طوال الوقت، وهي ظاهرة دعاها البعض بالتححرر من «طغيان» النصف المخي الأيسر المهيمن.

ثانية: إن ذلك كان في يوم السبت من نهاية أسبوع عيد الفصح. تبدي دراسات تصوير دماغ «كيم» المأخوذة حتى الآن شذوذاً بنسباً كبيراً (انظر الإطار في الصفحة 63). ولكن لا يمكن حتى اليوم الربط المباشر بين هذه المكتشفات وأي من مهارات «كيم»؛ وذلك البحث قد بدأ للتو. ولكن، قد تستلعب تقنيات جديدة للتصوير تتناول وظائف الدماغ (بدلاً من بنيته فقط) أن توفر لنا فهماً أفضل في هذا الصدد. وفي هذه الأثناء، نعتقد أن توثيق الأشياء المهمة التي يفعلها «كيم» أمر جدير بالاهتمام؛ إذ ليس من السهل العثور على أناس مثله ممن يفيدنا أن نسجل خاصياتهم لصالح الأبحاث المستقبلية. هذا ويفتح موضوع الذاكرات الخارقة نافذة فريدة داخل العقل. فإذا لم نتمكن من تفسيره، فلن نتمكن من ادعاء فهم تام لكيفية عمل الدماغ.

دماغ غير عادي

ولد كيم في 1951/11/11 (وكان ذلك يوم أحد حسبما يقول). كان رأسه كبيراً وفي قفاه قيلة دماغية encephalocoele (أو بثرة بجم البيسبول) تحللت تلقائياً. ولكن وجدت لديه أيضاً شذوذاً دماغية أخرى تتضمن مخيخاً مشوهاً. وقد قام أحدنا (كريستين) بعمل المسوح الأولية لدماغ «كيم» في عام 1988، ثم تابع تقدمه منذ ذلك الحين.

يمكن أن نعلل النتائج المخيخية مشكلات «كيم» المتعلقة بالتنسيق والحركية mobility. ولكن الأكثر لفتاً للانتباه هو غياب الجسم الثفني corpus callosum الذي يشكل تلك السويقة الكبيرة من النسيج العصبي التي تربط في الحالة السوية بين نصفي الكرة المخية الأيمن والأيسر. إننا لا نعرف ماذا يترتب على هذا العيب؛ لأنه، على ندرته، لا يترافق باضطرابات وظيفية. فقد وجد من الناس من افتقد هذه البنية من دون أن يعاني أي مشكلات يمكن الكشف عنها. ولكن مع ذلك فإن من أجريت لهم عملية شق للجسم الثفني في كُهرولتهم (بقصد محاولة منع انتشار نوبات الصرع من أحد النصفين المخيين إلى النصف الآخر) تنشأ لديهم متلازمة مميزة للدماغ المشطور يبدأ فيها نصفاً الكرة المخية المنفصلان بالعمل مستقلين تقريباً أحدهما عن الآخر.

قد يبدو أن أولئك الذين يولدون من دون جسم ثفني يطوِّرون قنويات اتصال بين نصفي الكرة المخية. وربما كانت هذه البنى الحاصلة نتيجاً للنصفين المخيين أن يعملوا في نواح معينة وكأنهما نصف مخي واحد عملاق يضم تحت سقف واحد وظائف كانت منفصلة. فإذا كان الأمر كذلك، فإن «كيم» قد يدين ببعض مواهبه إلى هذا الشذوذ الخاص. وفي جميع الأحوال، فإن حقيقة كون بعض الناس الفاقدين للجسم الثفني لا يبدون شذوذاً فيما يتمتع آخرون بذاكرات خارقة، إنما تجعل وظيفة الجسم الثفني أقل وضوحاً عما كان يعتقد. ويتندر علماء الأعصاب بأن وظيفتي الجسم الثفني الوحيدتين تقتصران على نشر نوبات الصرع وضم الدماغ بعضه إلى بعض.



«كيم» وهو يقرأ صفحة في غضون ثمانين ثوانٍ إلى عشر، وفي الوقت نفسه مستظفرا إياها عن ظهر قلب، وتتضمن مكتبته الذهنية ذات التسعة آلاف كتاب تغطية موسوعية لكل شيء من «شكسبير» وصولاً إلى اللحنين الموسيقيين، ثم إلى خرائط جميع المدن الرئيسية في الولايات المتحدة.

لقد خضع «كيم» لاختبار نفسياني في عام 1988. وقد كان «نسبة الذكاء» IQ⁽¹⁾ لديه 87. ولكن الاختبارات الفرعية اللفظية والادائية لهذه النسبة تفاوتت كثيراً. إذ وقعت بعض نسب الذكاء في المدى الأعلى للذكاء ووقع بعضها الآخر في مدى المعوقين عقلياً. ولذلك خلص التقرير النفسي إلى أن «تصنيف نسبة الذكاء لدى «كيم» لا يشكل وصفاً صحيحاً لقدرته الفكرية». والنقاش حول الذكاء العام general intelligence مقابل الذكاءات المتعددة multiple intelligencies يستخدم أواره في علم النفس. وإننا نعتقد أن حالة «كيم» هذه تناصر ما خلص إليه ذلك التقرير النفسي.

لقد وصف التشخيص الإجمالي حالة «كيم» بأنها «حالة اضطراب في التشكل والنمو ليس إلا» وتخلو من أي تشخيص لاضطراب ذاتوي (توحدي) autistic. وبالفعل، فمع أن الذاتية غالباً ما تترافق بمتلازمة الذاكرة الخارقة أكثر من أي اضطراب وحيد بعينه، فإن أكثر من نصف عدد الذين تظهر لديهم هذه المتلازمة هم ذاتويون. ولكن على العكس من الذاتويين، فإن «كيم» شخص صدوق ووسيم. ولعل أحد الأمور التي لا تبدو ضرورية للتنامي الكامل لمهارات متلازمة الذاكرة الخارقة هو الانكباب القوي على مادة الموضوع ذي الصلة.

الذاكرة والموسيقى⁽²⁾

في حالة «كيم»، بدأت جميع اهتماماته باستظهار فطري، ولكنها تقدمت لاحقاً إلى ما هو أكثر من ذلك. ومع أن «كيم» لا يمتلك سوى مقدرة محدودة على التجريد أو التفكير المفاهيمي (إذ إنه لا يستطيع على سبيل المثال أن يشرح العديد من الأمثال العادية)، فإنه يفهم فعلاً الكثير من المواد التي استودعها في ذاكرته. وتعد هذه الدرجة من الفهم غير عادية بين من لديه متلازمة الذاكرة الخارقة. وقد

صاغ «داون»⁽³⁾ نفسه عبارة الالتصاق اللفظي verbal adhesion كوصف لمقدرة مرضى متلازمة الذاكرة الخارقة على تذكر كميات هائلة من الكلمات من دون أن يفهمها. وقد أبرزت ذلك «سارة باركر» [وهي طالبة في علم النفس بجامعة بنسلفانيا] على نحو زاهٍ في وصفها أحد هؤلاء المرضى يدعى «كوردون» قائلة: «إن امتلاك ترسانة طوب لا يجعل منها عمارة من الحجر». أما «كيم» فإنه لا يمتلك ترسانة كبيرة من الطوب فحسب، بل أصبح أيضاً عمارة مفردات مبدعة وجامعة للفنون ضمن ساحات مهارته.

أحياناً تكون ردود «كيم» على الأسئلة أو التوجيهات حصرية وحرفية تماماً. فحينما طلب إليه والدّه ذات مرة في أحد المطاعم أن يخفض صوته، انزلق منخفضاً في كرسيه وبذلك خفّض صندوق صوته. وفي حالات أخرى قد تبدو أجوبته المعية تماماً. ففي أحد أحاديثه أجاب عن سؤال حول خطاب ألقاه «أبراهام لنكولن» في عام 1863 بخصوص معركة جيتسبرج بقوله: «في دار ويلز will's house، 227 شارع نورث وست فرونت، ولكنه مكث هناك ليلة واحدة. لقد ألقى خطابه في اليوم التالي». لم يقصد «كيم» النكتة، ولكن حينما رأى سائله يضحك أدرك النقطة، وأخذ منذئذ يكرر القصة بقصد وتأثير مرحين.

لكن «كيم» يمتلك قوة لا تقبل الجدل على إقامة ترابطات ذكية. ففي أحد الأيام حضر احتفالاً يخص شكسبير رعاها فاعل خير سُمي بالأحرف الأولى من اسمه «O.C.»، وقد حال مرض هذا الأخير بالتهاب الحنجرة دون قيامه بالإعراب عن امتنانه لتكريمه، وهنا بادر «كيم» المحب لشكسبير والمولع مثله بالتورية punster إلى القول مازحاً: «ها «O.C.»، ألا يمكنك قول ذلك؟»

إن مثل هذا الاستخدام الخلاق لمادة كانت قد استظهرت أصلاً على السجّة، يمكن أن ينظر إليه كمكافئ لفظي لارتجال موسيقار. فمثلاً هي حال الموسيقى، يفكر «كيم» بسرعة تبلغ حد صعوبة مجازاة ترابطاته المعقدة. فهو يتقدم على جمهوره خطوتين أو ثلاث خطى في استجاباته.

ومؤخراً تجلّى بُعد جديد مذهل إلى حدٍّ ما في مهارات متلازمة الذاكرة الخارقة لدى «كيم». ففي عام 2002 قابل «كيم» مديرة المكتبة الموسيقية McKay وأستاذة الموسيقى في جامعة يوتا، «A. كرنياز». وسرعان ما بدأ بفضل مساعدتها يعزف على البيانو ويحسن حوار صياغاته الموسيقية بعزف فقرات منها عارضاً على لوحة مفاتيح البيانو عدة قطع استذكرها من مكتبته الذهنية الضخمة. ونشير إلى أن «كيم» يمتلك ذاكرة طويلة الأمد لطبقة الصوت، إذ يتذكر مستوى الطبقة الأصلية لكل قطعة موسيقية.

يمتلك «كيم» معرفة تامة بأجهزة أوركسترا السمفونية التقليدية ويحدد بسرعة طابع (جرس) أي مقطوعة آلاتية instrumental. فعلى سبيل المثال، قدّم «كيم» النغم الافتتاحي لقصيدة أوركسترا «جدرش

(Memory and Music)

(1) Intelligence Quotient نسبة الذكاء.

(2) الطبيب (J. L. Down) أول من وصف أعراض المتلازمة المسماة باسمه [انظر: أسباب متلازمة «داون»، «التقويم»، العدد 4 (1988)، ص 37]. (التحرير)

هل هو اتصال مفقود؟

اليمين واليسر أحدهما بالآخر. كما يغيب الملتقيان commissures الأمامي والخلفي اللذان يربطان أيضا بين التصفين المخين ذاتهما. أما المخيخ المسؤول عن وظائف حركية معينة فهو لدى «كيم» أصغر من المعتاد، إضافة إلى كونه مشوها ويشغل سائل معظم الحيز المحيط به، الأمر الذي يفسر بعض صعوبات «كيم» في التنسيق الحركي. فموضوع البحث والحالة هذه يتعلق بدور هذه الشذوذات في قدراته العقلية.

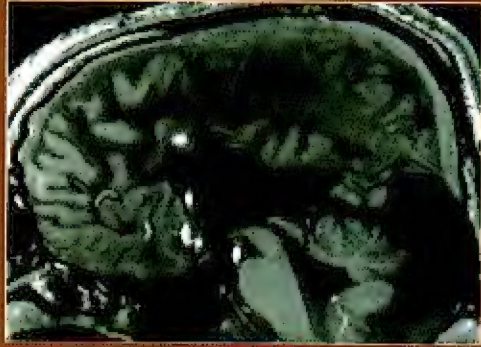
يختلف دماغ «كيم» (الصورة اليسرى في الأسفل) عن الأدمغة النمطية (المخطط والصورة اليسرى في الأعلى) في عدة نواح. [تصور المسوح أدناه مقاطع عرضية من الإصام إلى الخلف جرى إعدادها باستخدام التصوير الرنيني (التجاوبي) المغناطيسي]. ويلاحظ أن دماغ «كيم» ورأسه كبيران، كل منهما في المئيني^(١) الـ 90. وأكثر ما يلفت النظر هو الغياب الكامل للجسم الثفني الذي يربط في العادة التصفين المخين

دماغ سوي



جسم ثفني ملتقى أمامي ملتقى خلفي

دماغ «كيم» بيئته



جسم ثفني ملتقى أمامي ملتقى خلفي



الجسم الثفني

بقدمه اليمنى أثناء العزف.

تسجل «كرينان» (تلميذة موسيقى «موزارت») الملاحظات التالية بقولها: «إن إلمام «كيم» بالموسيقى كبير. وتعد قدرته على تذكر أي تفاصيل تخص قصيدة ما كان قد سمعها (ولو مرة واحدة فيما ينوق على أربعين سنة خلت) أمرا مذهلا. أما الترابطات التي يقيمها بين الحيكات weaves عبر القصائد، وكذلك سير حياة الملحنين، والحوادث التاريخية، والمرافقات الصوتية للأفلام السينمائية، وآلاف الحقائق التي تختزنها قاعدة بياناته، فإنها تكشف عن مقدرة عقلية هائلة.» ويصل الأمر بالباحثة «كرينان» أن تقارن بينه وبين «موزارت» الذي كان يمتلك رأسا كبير الحجم كذلك، وشغفه بالأعداد وبمهارات اجتماعية متفاوتة. وليس عجبا، حسب «كرينان»، أن يكون باستطاعة «كيم» أن يتعلم حتى التلحين.

سامانثا التي تحمل اسم «مولداو» The Moldau عبر تخفيض أدوار الناي flute والمزمار clarinet على نحو متصاعد الإيقاع بيده اليسرى وإظهار أن الشبّابات والمزامير تتداخل مع اللازمة الرئيسية التي خفّضها بعدئذ إلى طبقات pitches يتم عزفها على نحو منفرد في ثلاثيات باستخدام يده اليمنى. هذا ويتبين استيعابه للأساليب الموسيقية في قدرته على تحديد أسماء ملحنين قطع موسيقية لم يسبق له سماعها سابقا وذلك عن طريق تخمين الفن الموسيقي للقطعة واستنباط هوية الملحن الممكن.

ومع أن «كيم» مازال أخرق من الناحية البدنية، فإن إتقانه اليدوي في تحسين مستمر. فحينما يجلس إلى البيانو، يمكنه عزف القطعة التي يرغب في تناولها، فيغني المقطوعة ذات الشأن أو يصف الموسيقى لفظيا ويتحول أنشايها من صيغة إلى أخرى. إنه ينتبه إلى الإيقاع ويدق بخفة على صدره بيده اليمنى أو يدق الأرض برتابة

مقابل صوتي للثقوب السوداء^(١)

تسلك الموجات الصوتية المنتشرة في مائع سلوك الموجات الضوئية المنتشرة في الفضاء. وحتى الثقوب السوداء لها ما يقابلها صوتياً. أفلا يمكن للزمكان "space-time" أن يكون نوعاً خاصاً من الموائع مثل الأثير في فيزياء ما قبل أينشتاين؟

A. T., J. K. - R. بارينتانتي

من بُعد، تبدو المادة الكثيفة مستمرة مثل الزمكان عندما ينظر إليه في المقاييس الكبيرة، ولكنها على خلاف الأخير لها بنية مجهرية يتحكم فيها الميكانيك الكمومي ونفهمها بشكل جيد. إضافة إلى ذلك وإلى حد كبير، يماثل انتشار الصوت في مائع هائج انتشار الضوء في زمكان منحني. وما نحاوله وزملاؤنا، عبر استخدامنا للموجات الصوتية لدراسة نموذج للثقوب السوداء، هو استغلال هذا التماثل من أجل اكتساب بصيرة خلّاقة وفهم أعمق لكيفية عمل بنية الزمكان الميكروية. ويوحى عملنا بأن بنية الزمكان، حاله في ذلك حال مائع مادي، قد تكون حبيبية وذات إطار مرجعي^(٢) مفضل يظهر نفسه عند المقاييس الصغيرة، وذلك على خلاف فرضيات «أينشتاين».

من الثقب الأسود

إلى الجمرة الساخنة^(٣)

تعتبر الثقوب السوداء حقلاً تجارباً ممتازاً لاختبار نظريات الثقالة الكمومية، لأنها تمثل أحد الأمكنة النادرة التي نحتاج فيها إلى استخدام كلتا نظريتي الميكانيك الكمومي والنسبية العامة لفهم كيفية عملها. وقد تحققت خطوة كبيرة نحو توحيد

الثلاث هذه (النسبية الخاصة والعامة والميكانيك الكمومي). ومع ذلك، يواجه الفيزيائيون مسألة مفاهيمية عميقة. إن نظريتي النسبية العامة والميكانيك الكمومي، كما نفهمهما اليوم، لا تتسجم إحداهما مع الأخرى. وباءت بالفشل جميع محاولات العلماء لدمج الثقالة gravity التي تعزوها النسبية العامة إلى انحناء^(٤) curvature الزمكان، ضمن الإطار الكمومي. وقد حقق النظريون تقدماً ضئيلاً في فهم بنية الزمكان الشديدة الانحناء التي يتنبأ بها الميكانيك الكمومي عند مسافات متناهية في الصغر. وقادهم ما انتابهم من شعور بالإحباط إلى التماس الإرشاد في مجال غير متوقّع: إنه مجال فيزياء المادة الكثيفة التي تدرس خواص المواد العادية مثل البلورات والموائع.

عندما اقترح «A. أينشتاين» نظرية النسبية الخاصة عام 1905، ألقى جانباً بالفكرة التي كانت سائدة في القرن التاسع عشر والقائلة بأن الضوء ناجم عن اهتزازات في وسط افتراضي يسمى الأثير. وبدلاً من ذلك، قدّم «أينشتاين» الدليل على أن الموجات الضوئية يمكن أن تنتقل في الفراغ دون حاجة إلى وجود أي مادة - على خلاف الموجات الصوتية التي تنجم عن اهتزازات في الوسط المادي الذي تنتشر فيه. وهذا الجانب من النسبية الخاصة لم يمس في الركنين الآخرين للفيزياء الحديثة، النسبية العامة والميكانيك الكمومي، ويمكن بنجاح تفسير جميع البيانات التجريبية التي لدينا حتى الآن، والتي تغطي مجالاً واسعاً من المقاييس يمتد من المقاييس ما دون النووية إلى المقاييس الفلكية، وذلك من خلال النظريات

نظرة إجمالية/ الثقوب السوداء الصوتية^(٥)

- قدّم الفيزيائي الشهير «S. هوكينغ» عام 1970 الدليل على أن الثقوب السوداء ليست سوداء تماماً، لأنها تصدر وهجا كمومياً لإشعاع حراري. ولكن هناك مشكلة في تحليل هوكينغ تتلخص في أن الموجات التي تبدأ عند أفق الثقب الأسود سوف تمتد وفقاً للنظرية النسبية، وسوف يزيد طولها بمقدار لامتناه في الكبر عندما تنتشر بعيداً عن الثقب، لذلك، يجب أن يصدر إشعاع هوكينغ من منطقة غاية في الصغر، حيث تهيمن ظواهر الثقالة الكمومية.
- حاول الفيزيائيون الإلمام بكنه هذه المسألة عبر دراستهم نماذج لمنظومات موائع شبيهة بالثقوب السوداء، تمنع البنية الجزيئية للمائع الامتطاط اللامتناهي وتستعيض عن الغراب الميكروية للزمكان بفيزياء معروفة.
- تؤيد النماذج المشابهة هذه استنتاج هوكينغ وتدفع بعض الباحثين إلى اقتراح فكرة أن للزمكان بنية «جزيئية»، وذلك خلافاً لفرضيات النظرية النسبية المتعارفة.

(١) AN ECHO OF BLACK HOLES

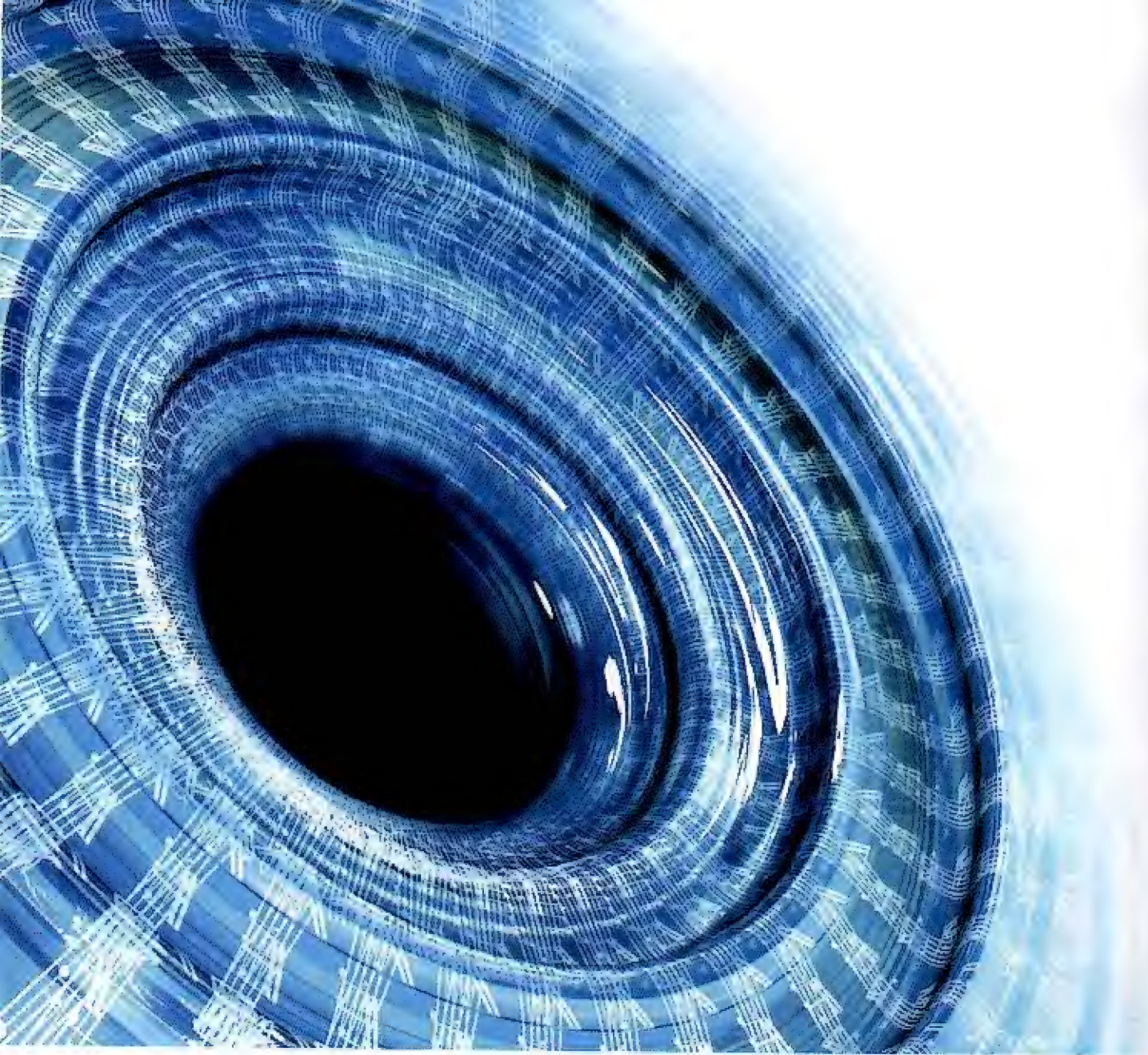
(٢) Overview/Acoustic Black Holes

(٣) From Black Hole to Hot Coal

(٤) نحت من زمان-مكان.

(٥) أو تقوس.

(٦) frame of reference



الأرضية GPS أن تأخذ ذلك في الاعتبار عند تحديد دقيق لموقع ما. مع ذلك، ما هو مميز للثقوب السوداء هو أن هذا الانزياح نحو الأحمر يبلغ قيمة لامتناهية في الكبر عندما يقترب المسافر من أفق الثقب الأسود. ومن وجهة نظر المراقب، يبدو الهبوط وكأنه يستغرق زمنا لامتناهيا في الكبر، مع أن هذا الهبوط نفسه يستغرق وقتا محدودا بالنسبة إلى المسافر نفسه.

وحتى الآن، تمت معالجة الضوء في وصفنا للثقوب السوداء على أساس اعتباره موجة كهرومغناطيسية تقليدية. وما فعله «هوكينغ» هو إعادة تحليل مقتضيات القيمة

الخارجي في تسلمه إشارات المسافرين على تلك التي أرسلوها قبل اجتيازهم للأفق، إذ إن الموجات الضوئية عند تسلقها لبئر الثقالة المحيطة بالثقب الأسود تمتد فينقص تواترها ويزيد دورها. ونتيجة لذلك، سيبدو المسافر بالنسبة إلى المراقب متحركا حركة بطيئة وأكثر احمرارا من العادة.

يُعرف هذا الأثر بالانزياح الثقالي نحو الأحمر^(١)، وهو ليس خاصية مميزة للثقوب السوداء وحدها. فمثلا، يسبب هذا الأثر أيضا تغيير التواتر والزمن الفاصل بين الإشارات الصادرة عن الأقمار الصناعية الدائرة حول الأرض وعن محطاتها الأرضية، وعلى منظومات تحديد المواقع على الكرة

الخطريتين عام 1974 عندما طبق «هوكينغ» [من جامعة كامبريدج] الميكانيك الكمومي على دراسة أفق حدث^(٢) الثقب الأسود.

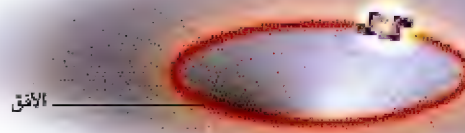
ووفقا للنسبية العامة، يمثل أفق حدث الثقب الأسود السطح الفاصل بين داخل الثقب (حيث الثقالة كبيرة جدا بحيث لا يستطيع أي شيء الإفلات منها) وخارجه. وهذا الفاصل ليس ماديًا، فالمسافرون السيئ الحظ لن يشعروا بأي شيء خاص عند اجتيازهم هذا الفاصل أثناء سقوطهم نحو الثقب الأسود، ولكنهم إذا فعلوا ذلك فلن يكونوا قادرين على إرسال إشارات ضوئية إلى أناس خارج الثقب، فكيف إذا بالانتقال والعودة للخارج. وسيقتصر المراقب

(١) the event horizon (٢) gravitational redshift

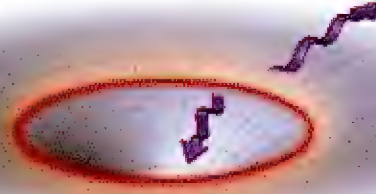
هل كان هوكنك على خطأ؟

يتعلق واحد من أهم أسرار الثقوب السوداء وأقلها اعترافاً به، بتخمين هوكينك المشهور حول إمكان إصدار الثقب الأسود للإشعاع. يُحدد الثقب الأسود باقٍ حدث يمكن اعتباره بوابة في اتجاه واحد، حيث يمكن للأجسام خارجه أن تسقط إلى داخله، في حين لا يمكن خروج الأجسام من داخله. وقد تساءل هوكنك عما سيحدث لزوج من الجسيمات الافتراضية (التي تظهر وتختفي باستمرار في كل مكان من الفضاء الخالي بسبب الآثار الكمومية) نشأ عند الأفق نفسه.

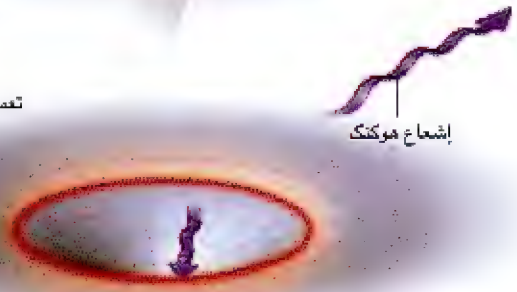
يظهر زوج من الفوتونات الافتراضية عند الأفق بسبب الآثار الكمومية



يسقط فوتون واحد للداخل في حين يسلك الآخر بعيداً. يتحول الفوتونان عبر هذه العملية من فوتونين افتراضيين إلى فوتونين حقيقيين



تعمل الثقالة على مطّ الفوتون الصادر



إشعاع هوكنك

تنبأ النظرية النسبية بأن الفوتون الصادر عن الأفق سوف يمتدّ بمقدار لامتناه في الكبر (الخط الأحمر في الأسفل). وبعبارة أخرى، لا بدّ لفوتون تتم ملاحظته أن يكون قد نشأ كفوتون افتراضي بطول موجي معدوم تقريباً. ويعتبر هذا الأمر مسألة مقلقة لأن الآثار الكمومية غير المعروفة تصبح هي المهيمنة عند مسافات أقصر مما يدعى بطول بلانك 10^{-35} متر. وقد دفع هذا الفيزيائيين إلى تخيل نماذج مشابهة للثقوب السوداء قابلة للتحقيق تجريبياً، وذلك من أجل اختبار إمكانية إصدارها لإشعاع، وفهم كيفية نشوئه في حال صدوره.



اللامتناهية في الكبر للانزياح نحو الأحمر عند اعتبار الطبيعة الكمومية للضوء. ووفقاً للنظرية الكمومية، فإن الخلاء المثالي نفسه غير فارغ تماماً بل يعجّ بهيجانات وتراوحات ناجمة عن مبدأ الارتياح لهايزنبرك. ويمكن لهذه التموجات أن تتجسد بشكل أزواج من الفوتونات الافتراضية والتي ندعوها كذلك، لأنها في زمان منحن بعيداً عن أي تأثير ثقالي، تولد وتفتى بشكل مستمر مما يجعلها غير قابلة للملاحظة عند غياب أي اضطراب.

ولكن يمكن لفرد من زوج افتراضي، في الزمان المنحني حول ثقب أسود، أن يجري حجه فيلج داخل الأفق في حين يبقى الآخر خارجه. وعندها يمكن للزوج الافتراضي أن يصبح حقيقياً ما يؤدي إلى تدفق ضوء نحو الخارج يمكن ملاحظته، ويرافق ذلك نقصان في كتلة الثقب. والنمط الإجمالي للإشعاع هو حراري، مثل حال جمرة ساخنة، بدرجة حرارة متناسبة عكساً مع كتلة الثقب الأسود. تُعرف هذه الظاهرة باسم مفعول هوكنك^(١). وما لم يبتلع الثقب كتلة أو طاقة لتعويض ما يفقده، فإن مفعول هوكنك سيجعله يستنفد كامل كتلته.

ولا بدّ من الإشارة هنا إلى نقطة مهمة، ستصبح حاسمة لاحقاً عند اعتبار الأشباه المانعة للثقوب السوداء، وهي بقاء المكان المجاور تماماً لأفق الثقب الأسود في حالة خلاء كمومي تام تقريباً. وفي الحقيقة، يعدّ هذا الشرط أساسياً في برهان هوكنك، لأن الفوتونات الافتراضية خاصة للحالة الكمومية ذات الطاقة الأخفض، أو «الحالة الأساسية»^(٢). ويمكن للفوتونات الافتراضية أن تصبح حقيقية ولكن فقط عند انفصالها عن شركائها في الأزواج الافتراضية وتسلقها حقل الثقالة بعيداً عن الأفق.

المجهر النهائي^(٣)

أدى تحليل هوكنك دوراً مركزياً في محاولة بناء نظرية كمومية للثقالة. وتعتبر القدرة على إعادة استنتاج مفعول هوكنك وإيضاحه اختباراً حاسماً لأي نظرية مرشحة لأن تكون نظرية ثقالة كمومية، مثل نظرية الأوتار^(٤). ومع أن معظم الفيزيائيين

Was Hawking Wrong? (+)
The Ultimate Microscope (++)
Hawking effect (1)
ground state (2)

"The Illusion of Gravity," string theory (3)
[by Juan Maldacena; Scientific American, November 2005]

الضوء مقابل الصوت^(١)

نوع الموجة	الوصف المعهود	الوصف الكمي	السرعة	سبب انحناء مسار الموجة	أين تتوقف صفة الوصف
ضوء	حقول كهربائية ومغناطيسية مهتزة	فوتون موجة كهرومغناطيسية	300 000 كم/ثا	انحناء، انحراف (تقوس) الزمكان الناتج عن وجود المادة والطاقة	طول بلانك؟ (10^{-35} متر)
صوت	حركة جماعية للجزيئات	فوتون موجة صوتية	1500 م/ثا (في الماء، السائل)	اختلافات في سرعة المائع واتجاه حركته	المسافة الفاصلة بين الجزيئات (10^{-10} متر من أجل الماء)

استدعاء نظرية كمومية للثقالة. لذلك، يُعدُّ أفق الثقب الأسود مجسراً رائعا باحتياز يسمح للمراقب أن يكون على تماسٍ مع ظواهر فيزيائية غير معروفة. وبالنسبة إلى الفيزيائي النظري، تُعتبر إمكانية التضخيم هذه مقلقة، إذ لو كان تنبؤ هوكنك قائما على فيزياء غير معروفة، أفلا يحقُّ لنا الشك في صلاحيتها؟ ألا يمكن لخصائص إشعاع هوكنك، بل حتى وجوده، أن تعتمد على خصائص الزمكان الميكروية، تماما كما تعتمد، مثلاً، السعة الحرارية لمادة ما أو سرعة الصوت فيها على بنيتها الميكروية وديناميكيتها؟ أم أن هذا الأثر يتحدد تماما، كما حاج «هوكنك» في بداية الأمر، من خلال الخصائص الماكروية للثقب الأسود، وعلى وجه الخصوص كتلته وسبينه $spin$ ؟

لسعات صوتية^(١)

بدأت إحدى المحاولات للإجابة عن هذه الأسئلة مع عمل «W. أوتر» [من جامعة بريتش كولومبيا]. فقد بين «أوتر» عام 1981 أن هناك تشابها كبيرا بين انتشار الصوت في سائل متحرك وبين انتشار الضوء في زمكان منحني. واقترح أن هذا التشابه قد يفيد في تخمين أثر الفيزياء الميكروية في إشعاع هوكنك. إضافة إلى ذلك، يمكن لهذا التشابه أن يسمح حتى بإمكانية الملاحظة التجريبية لظاهرة متضمنة لإشعاع هوكنك. تتميز الموجات الصوتية، مثلها في ذلك مثل الموجات الضوئية، بتواترها وطولها الموجي وسرعة انتشارها. وإن مفهوم الموجة الصوتية صالح فقط من أجل أطوال موجة أكبر بكثير من المسافة بين الجزيئات في السائل، إذ تتوقف الموجات الصوتية عن الوجود عند المسافات الأقصر. إن هذا

عندما ننظر إليها وقد عدنا بالزمان إلى الوراء (أي عندما نتطلع إلى تطورها الزمني بالرجوع عبر الزمن حتى لحظة بدايتها). عندما يقترب الفوتون من الثقب فإنه يصبح أكثر ازرقاقا، أي يزيد تواتره وينقص طوله الموجي. وكلما رجعنا أكثر إلى الوراء في الزمن اقترب الفوتون أكثر من الأفق، ومن ثم قصر طوله الموجي. وعندما يصبح الطول الموجي أصغر بكثير من الثقب الأسود ينضم الجسم الفوتوني إلى شريكه مكونا الزوج الافتراضي الذي ناقشناه مسبقا.

يستمر الانزياح نحو الأزرق دون توقف ويمكن بلوغ مسافات صغيرة كـ «كيفية^(١)». وعندما تصبح المسافة أصغر من 10^{-35} متر، أو ما يُعرف باسم طول بلانك، عندها لا يمكن للنظرية النسبية ولا للميكانيك الكمي أن يتنبأ بسلوك الجسم، ولا بد لنا هنا من

يقبلون بحجج «هوكنك» فإنهم لم يستطيعوا قط التأكد منها تجريبيا، لأن ما يتنبأ به من إصدار ضوئي عن الثقوب السوداء المجرية والنجمية أصغر بكثير مما نتعكّن الآن من تحسّسه. والأمل الوحيد في ملاحظة إشعاع هوكنك يكمن في أن نجد ثقوبا سوداء صغيرة من بقايا الكون الموهل في القدم أو أنها كُوتت في السرعات الجسيمية، وهذا احتمال قد يكون معدوما [انظر: «الثقوب السوداء الكمومية»، **العلوم**، العددان 6/5 (2005)، ص 48].

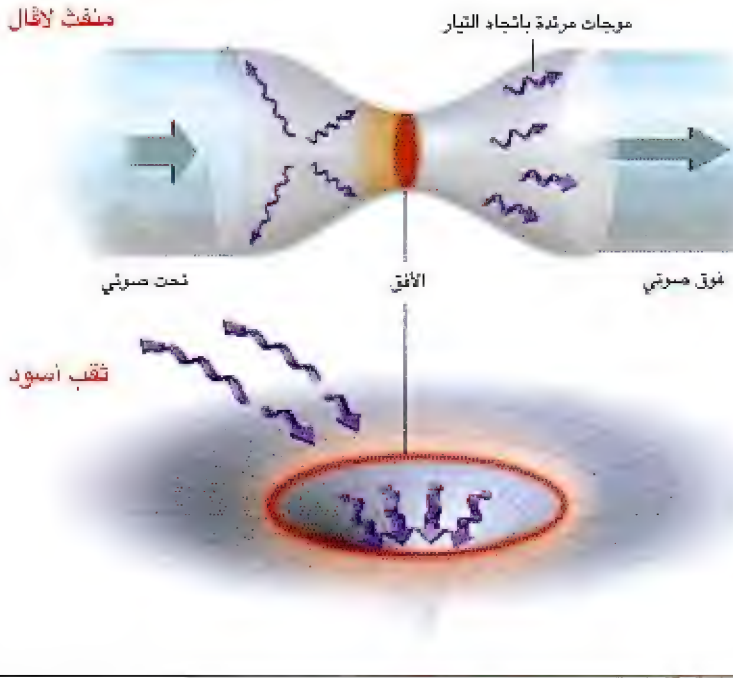
ويُعدُّ افتقارنا إلى تأكيد تجريبي عن مفعول هوكنك أمرا مُقلقا لا سيما إذا تذكرنا الحقيقة المزعجة عن وجود عيوب في بناء النظرية نفسها ناجمة عن تنبئها بقيمة لامتناهية في الكبر لانزياح الفوتون نحو الأحمر. لنتعتبر عملية الإصدار وكيف تبدو



تسلك التموجات في مجرى مائي سلوكا مماثلا إلى حد كبير لسلوك الموجات الضوئية في الزمكان. إن الجريان حول الصخرة ليس منتظما مما يسبب انحناء التموجات وتغير طولها الموجي. ويحدث الأمر نفسه بالنسبة إلى ضوء يمر عبر الحقل الثقالي لكوكب أو نجم. وفي بعض الحالات، يكون الجريان سريعا جدا لدرجة أن التموجات لا تستطيع الانتشار باتجاه معاكس لاتجاه الجريان تماما كالضوء، لا يمكنه الإفلات من الثقب الأسود للانتشار خارجه.

نموذج مشابه لثقب أسود⁽¹⁾

يمثل منفث لافال Laval nozzle، الذي يوجد في مؤخرة الصواريخ، نموذجا جاهزا مشابها لثقب أسود. يدخل المائع بسرعة تحت صوتية subsonic، ويجبره العائق التضيق على التسارع ليبلغ سرعة الصوت بحيث يخرج هذا المائع بسرعة فوق صوتية. ويمكن للموجات الصوتية في المنطقة تحت الصوتية أن تتحرك ضد التيار، في حين لا تستطيع ذلك في المنطقة فوق الصوتية. فالتضيق إذاً يسلك سلوك أفق ثقب أسود، ومن ثم يمكن للصوت الولوج إلى المنطقة فوق الصوتية ولكنه لا يستطيع الخروج منها. وتولد التراوحات والتموجات الكمومية عند التضيق مشابهاً صوتية لإشعاع هوكينج.



المذهب الذري⁽²⁾

إذا كان المانع ياردا بشكل كاف فيبقى التشابه قائماً حتى على المستوى الكمومي. وقد قدّم «أونره» حججاً على أن الأفق الصوتي يصدر فونونات حرارية مماثلة لإشعاع هوكينج. تسبب التراوحات والتموجات الكمومية قرب الأفق ظهور أزواج من الفونونات، ويجرف أحد الشريكين في زوج ما إلى المنطقة فوق الصوتية، ولن يستطيع الخروج منها أبداً، بينما يكمل الشريك الآخر اهتزازاته وينتشر ضد التيار متمططاً أثناء ذلك بفعل تدفق المائع. ولو وضعنا ميكروفونا في أعلى النهر لالتقط هسهسة ضعيفة، تأتي طاقتها الصوتية من الطاقة الحركية للمائع المتدفق.

تعتمد النغمة المهيمنة للضجة التي نسمعها على هندسة المسألة؛ وتكون القيمة النموذجية للطول الموجي للفونونات الملاحظة من مرتبة المسافة التي تتغير خلالها سرعة المائع بشكل محسوس. تفوق هذه المسافة إلى حد كبير المسافة الفاصلة بين الجزيئات مما سمح لـ«أونره» في عمله الأصلي اعتبار المائع ككأ غلس ومتصلاً. ومع ذلك، تتكون الفونونات قرب الأفق بأطوال موجية قصيرة جداً لدرجة أنها لا بد أن تتجسس الطبيعة الحبيبية للمائع. هل يؤثر هذا الاعتبار في النتيجة النهائية؟ هل يمكن لمائع حقيقي إصدار فونونات على طريقة هوكينج، أم أن توقع «أونره» نتاج صناعي ناجم عن اعتبارنا

وسرعتها. ينتشر الصوت، مثلاً في بركة سباحة ساكنة أو في نهر يجري بهدوء، بشكل مستقيم من منبعه إلى الأذن. ومع ذلك، تتغير سرعة الفونونات في سائل يتحرك بشكل غير منتظم، وقد تمتد أطوالها الموجية تماماً كحال الفونونات في مكان منحن. ويتشوه الصوت المنتشر عبر نهر عند ملاقاته وادياً ضيقاً أو عند ملاقاته لما يدور حول فتحة التصريف، فيسلك مساراً منحنياً مثل مسار الضوء المار بالقرب من نجم. وفي الحقيقة، يمكن توصيف هذه الظاهرة الصوتية باستخدام الأدوات الرياضية الهندسية للنسبية العامة. ويمكن لجريان مائع أن يؤثر في الصوت كما يؤثر الثقب الأسود في الضوء. وهناك طريقة لتكوين مثل هذا الثقب الأسود الصوتي وهي استخدام جهاز يدعوه المهندسون المائيون باسم منفث لافال⁽³⁾. وقد صمم هذا المنفث بحيث تصل سرعة المائع في نقطة التضيق الأشد سرعة الصوت في المائع وتتجاوزها من دون أن تكون موجة صدم⁽⁴⁾

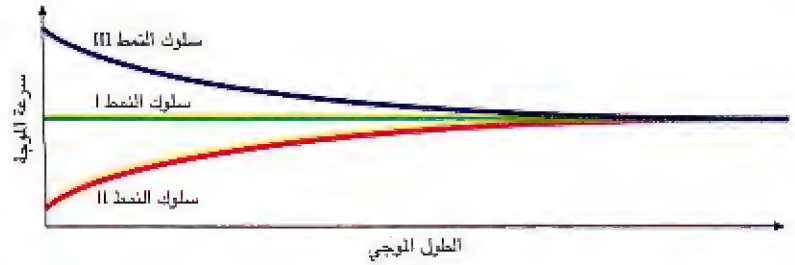
التقييد هو ما يجعل النموذج التشابهي مهما لدرجة كبيرة، لأنه يسمح للفيزيائيين بدراسة ما ينجم ماكروياً عن البنية الميكروية. ومع ذلك، ولكي يكون التشابه مفيداً فعلاً، عليه أن يكون صالحاً على المستوى الكمومي كذلك. وبشكل عام، تمنع الاهتزازات الحرارية للجزيئات الموجات الصوتية من أن تسلك سلوك كموم quanta الضوء، ولكن عندما تقترب درجة الحرارة من الصفر المطلق يمكن للصوت أن يسلك سلوك جسيمات كمومية يدعوها الفيزيائيون باسم «الفونونات» تأكيداً لتشابهها مع جسيمات الضوء «الفوتونات». ويلاحظ الفيزيائيون التجريبيون الفونونات مراراً في البلورات وفي المواد التي تبقى مائعة في درجات الحرارة المنخفضة مثل الهليوم السائل.

يشبه سلوك الفونونات في مائع ساكن أو متحرك بحركة منتظمة سلوك الفوتونات في مكان مستو حيث الثقالة غائبة. وتنتشر مثل هذه الفونونات في خطوط مستقيمة محافظة على قيم طولها الموجي وتواترها

(1) Black Hole Analogue
(2) Atomism
(3) Laval nozzle
(4) shock wave

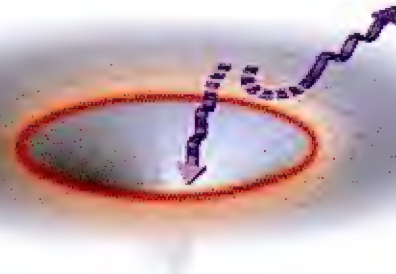
لقد كان هوكنك على حق، ولكن ...

توحي لنا النماذج الماثمة المشابهة للثقوب السوداء بطريقة لتصحيح الخلل في تحليل هوكنك. في مائع مثالي، تكون سرعة الصوت ثابتة مهما يكن الطول الموجي (وهذا يسمى سلوك النمط I). وفي مائع حقيقي، تتناقص سرعة انتشار الصوت (النمط II) أو تتزايد (النمط III) مع تناقص الطول الموجي وإقترابه من قيمة المسافة الفاصلة بين الجزيئات.

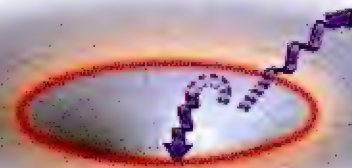


يرتكز تحليل هوكنك على النظرية النسبية المعهودة، حيث يسير الضوء بسرعة ثابتة (سلوك النمط I). وإذا تغيرت سرعة الضوء، مع تغير الطول الموجي، كما في النماذج الماثمة المشابهة، فقد تتغير مسارات فوتونات هوكنك.

من أجل النمط II، تُخلق الفوتونات خارج الأفق وتسقط للداخل. واحدٌ منها سيعاني تغيراً في سرعته ثم يعكس اتجاهه وينطلق خارجاً.



من أجل النمط III، تنشأ الفوتونات داخل الأفق. يتسارع أحدها متجاوزاً سرعة الضوء الاعتيادية مما يسمح له بالإفلات.



لما كانت الفوتونات لا تنشأ عند الأفق بالضبط، فإنها لن تتعرض لانزياح لانهاضي نحو الأحمر. ولهذا التصحيح لتحليل هوكنك ثمن وهو وجوب إدخال تعديلات على النظرية النسبية. بخلافنا للفرضيات «اينشتاين»، يجب على الزمكان أن يسلك سلوك مائع مكون من «جزيئات» من طبيعة غير معروفة.

عندما يصبح هذا الأخير صغيراً من مرتبة المسافة الفاصلة بين الجزيئات.

يمكن ظهور ثلاثة أنماط سلوكية مختلفة لعلاقات التشبث. لا يتضمن النمط I أي تشبث، أي إن الموجات ذات الأطوال الموجية القصيرة تسلك سلوك الموجات الطويلة نفسه. أما في النمط II فإن سرعة الانتشار تنقص عندما يصغر الطول الموجي، في حين تزداد هذه السرعة في النمط III بنقصان الطول الموجي. يصف النمط I الفوتونات في النظرية النسبية، في حين يصف النمط II الفوتونات في الهليوم الفائق الميوعة مثلاً، أما النمط III فيصف الفوتونات في متكثفات «بور-أينشتاين» المخففة. يعتبر هذا التصنيف إلى ثلاثة أنماط مبدأ تنظيمياً يسمح بمعرفة كيفية تأثير البنية الجزيئية في الصوت ماكروياً. ومنذ بداية عام 1995، قام «أونره» وباحثون آخرون بدراسة مفعول هوكنك بوجود علاقة تشبث من النمط II أو النمط III. لشر كيف تبدو الفوتونات، على طريقة هوكنك، وذلك عندما ننظر إليها كما كانت في ماضي الزمن. في البداية، لا يؤثر نمط علاقة التشبث في سلوك الفوتونات، فتسبح هذه باتجاه التيار نحو الأفق وطولها الموجي يتناقص أثناء ذلك. ويصبح نمط علاقة التشبث مهماً عندما يقترب الطول الموجي من مرتبة المسافة الفاصلة بين الجزيئات. في النمط II، تبدأ الفوتونات بالتباطؤ ثم تعكس جهة سيرها وتبدأ بالجريان ضد التيار، أما في النمط III، فإنها تتسارع لتبلغ سرعة أكبر من سرعة انتشار الصوت الموافقة للأطوال الموجية الكبيرة ثم تجتاز الأفق.

عودة إلى الأثر^(*)

إن مشابهاً حقيقياً لمفعول «هوكنك» يجب أن يحقق شرطاً مهماً، وهو ضرورة أن تبدأ الأزواج الافتراضية للفوتونات حياتها في الحالة الأساسية، كما هي الحال بالنسبة إلى أزواج الفوتونات الافتراضية حول الثقب الأسود. ويمكن تحقيق مثل هذا الشرط بسهولة في مائع حقيقي. وطالما كان تغير تدفق المائع الماكروي بطيئاً في الزمان وفي المكان (مقارنة بمعدل تواتر الأحداث على المستوى الجزيئي)، فإن الحالة الجزيئية للمائع تتعدل باستمرار من أجل تخفيض

يمكن تضمين مجمل التفاصيل الأساسية للبنية الجزيئية في الطريقة التي يعتمد بها تواتر الموجة الصوتية على طولها الموجي. وعلاقة الاعتماد هذه تسمى علاقة التشبث^(*)، وهي تحدد سرعة انتشار الموجة. وهذه السرعة ثابتة من أجل أطوال موجية كبيرة، بينما يمكن لها أن تتغير مع طول الموجة

معالجتهم هذه المسألة دراسة إمكانية تحقيق تقدم رياضياتي. يُعد فهم كيفية تأثير البنية الجزيئية للمائع في الفوتونات بالغ التعقيد. ولحسن الحظ، وبعد عشر سنوات من اقتراح «أونره» لنموذجه المشابه الصوتي، أتى أحدنا (جاكوبسون) بفكرة مبسطة مفيدة جداً.

(*) Hawking Was Right, But ...
(**) Ether Redux
(*) dispersion relation

طاقة المنظومة ككل. وليس مهما هنا طبيعة جزيئات المائع المكونة له.

يمكن البرهان على أنه عند تحقيق هذا الشرط فإن المائع سيصدر إشعاعاً على طريقة هوكنك بصرف النظر عن أي نوع من علاقات التشبُّث الثلاث التي يخضع لها المائع. ولن يكون هنا للتفاصيل الميكروية للمائع أي أثر في هذه النتيجة، إذ إن أهميتها تزول تماماً عند انطلاق الفوتونات بعيداً عن الأفق. إضافة إلى ذلك، فإن الأطوال الموجية الكيفية القصيرة التي يستدعيها تحليل هوكنك في عمله الأصلي، لا تظهر عندما تكون علاقة التشبُّث من أحد النمطين II أو III. وبدلاً من ذلك، فإن الأطوال الموجية تتناقص إلى حدودها الدنيا عند المسافة الفاصلة بين الجزيئات. وليس الانزياح نحو الأحمر اللامتناهي إلا تجسيدا خاطئاً للفرضية غير الفيزيائية عن الذرات المتناهية في الصغر.

وعند تطبيقه على ثقوب سوداء حقيقية، فإن التشابه المائع يضفي ثقة بأن نتيجة «هوكنك» صحيحة على الرغم من الفرضيات التبسيطية التي أخذ بها. إضافة إلى ذلك، يوحي هذا التشابه لبعض الباحثين بأنه يمكن تجنب الانزياح اللامتناهي نحو الأحمر عند أفق ثقب أسود ثقالي^(١) وذلك بتشتيت أطوال موجية قصيرة للضوء، مثلما يحدث في حالة المائع. إلا أن هناك شركاً مخبئاً هنا. فالنظرية النسبية تؤكد بصورة قاطعة أن الضوء لا يعاني أي تشبُّث في الفراغ. والطول الموجي للفوتون يبدو مختلفاً بالنسبة إلى مراقبين مختلفين؛ فهو لامتناه في الكبر عندما يرى من جملة مرجعية متحركة بسرعة قريبة جداً من سرعة الضوء. لذلك، لا يمكن لقوانين الفيزياء أن تحدد لنا حداً ثابتاً للطول الموجي القصير، الذي يتغير عنده نوع علاقة التشبُّث من النمط I إلى النمط II أو III. فكل مراقب قيمة خاصة به لذلك الحد.

إذاً يواجه الفيزيائيون معضلة، فإما أن يحافظوا على ما حتم عليه «أينشتاين» وهو عدم وجود جملة مرجعية مميزة، ويقبلوا في الوقت نفسه بحقيقة الانزياح اللامتناهي نحو الأحمر، أو أن يفترضوا أن الفوتونات لا تعاني انزياحاً لامتناهياً نحو الأحمر، وعليهم في هذه الحالة أن يقبلوا بوجود جملة مرجعية للمراقبة مميزة. هل ستتجهك جملة مرجعية كهذه مبدأ النسبية؟ لا أحد يعرف إلى الآن الإجابة عن

هذا السؤال. قد يكون من الممكن أن ننظر إلى هذا المرجع^(٢) المفضل كأثير محلي يظهر فقط قرب أفاق الثقوب السوداء، وفي هذه الحالة تبقى النظرية النسبية صالحة بشكل عام. ومن ناحية أخرى، قد يوجد هذا المرجع المفضل في كل مكان وليس فقط قرب الثقوب السوداء، وفي هذه الحالة ستكون النظرية النسبية تقريباً لنظرية أعمق عن الطبيعة. لم يلاحظ التجريبيون إلى الآن مثل هذا المرجع المفضل، ولكن هذه النتيجة السلبية قد تكون ببساطة ناجمة عن افتقار التجارب للدقة الكافية.

لقد خامر الفيزيائيين منذ زمن طويل الشعور بأن التوفيق بين النسبية العامة والميكانيك الكمومي سيدخل حداً خاصاً بالمسافات الصغيرة، وقد يكون هذا الحد ذا صلة بمقياس بلانك. ويدعم التشابه الصوتي هذا الشعور بأن الزمكان بنية حبيبية نوعاً ما، لكي يلفظ ذلك من أثر الانزياح اللامتناهي نحو الأحمر المريب.

إذا كان الأمر كذلك لكان التشابه بين انتشار الصوت وانتشار الضوء أفضل حتى ممّا ظن به أولاً «أورنر». وقد يقودنا التوحيد بين النسبية العامة والميكانيك الكمومي إلى تخليّن عن ذلك التصور المثالي للكان وزمان

مستمرّين ومتّصلين، كما يقودنا إلى اكتشاف «ذرات» الزمكان. ومن الممكن أن تكون أفكار مشابهة قد راودت «أينشتاين» عند كتابته رسالة لصديقه العزيز^(٣) M. بيسر عام 1954، وذلك قبل وفاته بسنة، إذ قال: «أعتبر أنه من الممكن تماماً استحالة بناء الفيزياء على أساس مفهوم الحقل field، أي على أساس بنية متّصلة». ولكن هذا الأمر سيقطع الأسس الراسخة التي تقوم عليها فيزياء اليوم، وليس لدى العلماء في الوقت الحاضر نظرية واضحة يمكن ترسيخها لتكون بديلاً. وفي الواقع، يضئف «أينشتاين»: «وعندها لن يبقى شيء في الهواء من قلعة إسهاماتي النظرية، بما في ذلك نظرية الثقالة، والأمر سيأت بالنسبة إلى ما تبقى من الفيزياء الحديثة». لكن لا تزال القلعة صامدة بعد مرور خمسين سنة على كتابة هذه الرسالة، مع أن مستقبلها ليس واضحاً. ومن الممكن أن تكون الثقوب السوداء أو مشابهاها الصوتية قد بدأت بإنارة الطريق وسبر غوره.

(١) أو جملة مرجعية reference frame.

المؤلفان

Theodore A. Jacobson - Renaud Parentani

يدرسان الفاز الثقالة الكمومية ويتناجها القابلة للملاحظة في فيزياء الثقوب السوداء والكوسمولوجيا (علم الكون). جاكوبسون هو أستاذ الفيزياء بجامعة ماريلاند وتتركز أبحاثه الحديثة على ترموديناميك الثقوب السوداء ودراسة إمكانية كون الزمكان ذا بنية منفصلة على المستوى الميكروبي، وفيما إذا كان من المستطاع اكتشاف هذه البنية الدقيقة ماكروياً. أما بARENTANI فهو أستاذ الفيزياء بجامعة باريس الجنوبية في أورسي، ويعمل في مختبر الفيزياء النظرية التابع للمركز الوطني للأبحاث العلمية في فرنسا (CNRS). وتتركز أبحاثه على دور التراوحيات والتحوّجات الكمومية في فيزياء الثقوب السوداء والكوسمولوجيا. وهذه المقالة هي ترجمة وتحيث لمقالة كتبها «بARENTANI» ونشرت في عدد الشهر 5 (2005) في مجلة Pour la Science، النسخة الفرنسية لـ مجلة ساينتفيك أمريكان، وهي إحدى أخوات العلوم.

مراجع للاستزادة

Trans-Planckian Redshifts and the Substance of the Space-Time River. Ted Jacobson in *Progress of Theoretical Physics Supplement*, No. 136, pages 1-17; 1999. Available [free registration] at <http://ptp.jp/cgi-bin/getarticle?magazine=PTPS&volume=136&number=&page=1-17>

What Did We Learn from Studying Acoustic Black Holes? Renaud Parentani in *International Journal of Modern Physics A*, Vol. 17, No. 20, pages 2721-2726; August 10, 2002. Preprint available at <http://arxiv.org/abs/gr-qc/0204079>

Black-Hole Physics in an Electromagnetic Waveguide. Steven K. Blau in *Physics Today*, Vol. 58, No. 8, pages 19-20; August 2005.

For papers presented at the workshop on "Analog Models of General Relativity," see www.physics.wustl.edu/~vlaeser/Analog/

حياة «كيم» بعد فيلم «رجل المطر»^(*)

ليس مستغرباً أن تكون ذاكرة «كيم» الضخمة قد أسرت انتباه الكاتب «B. مور» (حين التقاه صدفة في عام 1984) وألهمته أن يكتب سيناريو الفيلم السينمائي *رجل المطر Rain Man*، الذي أدى دور البطل فيه «D. هوفمان» تحت اسم «ريموند باييت» باعتباره يعاني «متلازمة الذاكرة الخارقة». إن هذا الفيلم السينمائي محض خيال علمي ولا يروي قصة حياة «كيم» ولو بالإجمال. ولكن في أحد مشاهد المستبصرة على نحو لافت يحسب «ريموند» الجذور التربيعية ذهنياً. ويقول أخوه «شارلي» في هذا الصدد: «إنه يجب أن يعمل لحساب ناسا NASA أو شيء من هذا القبيل». أما بالنسبة إلى «كيم» فإن مثل هذا التعاون قد يحدث فعلاً.

أجل، فقد اقترحت الوكالة ناسا نموذجاً تشريحيًا ثلاثي الأبعاد 3-D عالي الميز⁽¹⁾ لبنيان دماغ «كيم». ويصف «R. بويل» [وهو مدير المركز NASA BioVis] هذا المشروع كجزء من جهد أكبر يستهدف دمج وترصيع بيانات صنور تشكيلة واسعة من الأمغة قدر الإمكان، ولهذا السبب يعتبر دماغ «كيم» الاستثنائي ذا قيمة خاصة، وينبغي لهذه البيانات، سواء الوصفية منها أو الوظيفية، أن تمكن الباحثين من تحديد مواقع وماهيم التغيرات الدماغية التي تصحب الفكر والسلوك. وتأمل ناسا أن يمكن هذا النموذج التفصيلي الباحثين من تحسين مقدرتهم على تأويل خُرج output منظومات التصوير فوق الصوتي ultrasound الأقل كفاءة والتي تؤلف النوع الوحيد الذي يمكن حمله الآن إلى الفضاء واستخدامه لمراقبة رواد الفضاء.

لقد برهن نجاح تصوير فيلم *رجل المطر Rain Man* والأفلام السينمائية اللاحقة أنه نقطة تحول في حياة «كيم»؛ إذ إن هذا الأخير كان قبل ذلك اعتكافياً ينسحب إلى غرفة نومه حين يأتيه الأصحاب. لكنه بعد الثقة التي اكتسبها من اتصالاته مع صناعي الفيلم، وكذلك من الشهرة التي زوده بها النجاح السينمائي، استلهم والده «F. بيك» مشاركة مواهب «كيم» مع عديد من الحضور فأصبحوا رسل حماس لذوي الإعاقات، ويمرور السنوات شارك قصتهم ما ينوف على مليوني شخص إلى ستة ملايين.

إننا نعتقد أن لهذا التحول في حياة «كيم» قابلية تطبيق عامة. فالكثير مما يعرفه العلماء عن الصحة يتأتى من دراسة الأمراض pathologies، وسياتي الكثير مما سنتعلمه حول الذاكرة العادية من دراسة الذاكرة الاستثنائية أو الفريدة. وفي الوقت نفسه، فإننا سنتوصل إلى بعض الاستنتاجات العملية لصالح رعاية أشخاص آخرين من ذوي الاحتياجات الخاصة الذين يمتلكون مهارة من مهارات متلازمة الذاكرة الخارقة. إننا نوصي بأن تعتمد الأسرة والجهات الأخرى المانحة للرعاية إلى «تدريب الموهبة»⁽²⁾ بدلاً من نبذ مثل هذه المهارات بوصفها سخيصة، وذلك من أجل ربط من تظهر لديه متلازمة الذاكرة



يشكل العزف على البيانو أحدث مهارة اكتسبها «كيم» وهي تزداد يوماً بعد يوم على الرغم من ضعف التنسيق الحركي لديه. وتشاهد في هذه الصورة إلى جانبه المدرسة «A. كرينان» (جالسة) والدة، وكلاهما عمل على تشجيع جهود «كيم».

الخارقة بالناس الآخرين وتخفيف تأثيرات إعاقته. إن هذا الأمر ليس باليسيل السهل، لأن الإعاقة وقودها تتطلب قدراً كبيراً من التفاني والصبر والعمل الشاق حسبما يبين بشكل مقنع والد «كيم» على سبيل المثال.

هذا ولسوف يمدنا المزيد من استكشاف متلازمة الذاكرة الخارقة باستبصارات وقصص علمية ذات اهتمام إنساني شاسع. ويقدم «كيم بيك» أدلة وافرة لكليهما.

(*) العنوان الأصلي: Lilo after Rain Man

train the talent (1)

high-resolution (1)

المؤلفان

Darold A. Treffert - Daniel D. Christenson

لطالما فتنتهما ظاهرة الذاكرات الخارقة «تريفيرت» طبيب نفسياني في ويسكونسن، وقد أجرى منذ عام 1982 أبحاثاً على الذاتوية (الشوحد) autism ومتلازمة الذاكرة الخارقة، حيث قابل أول مرة أحد الذين يعانون هذا الاضطراب. وكان مستشاراً لفيلم رجل المطر، وهو مؤلف كتاب «الناس الاستثنائيون» فُهم متلازمة الذاكرة الخارقة. أما «كريستensen» فهو أستاذ عيادات الطب النفسي وأستاذ عيادات علم الأعصاب وأستاذ مشارك للفارماكولوجيا في كلية طب جامعة يوتا. ويركز بحثه على مرض الزهايمر، لكنه بعد «كيم بيك» انصرف لأكثر من عقدين إلى الاهتمام بمتلازمة الذاكرة الخارقة.

مراجع للاستزادة

The Real Rain Man. Fran Peek, Harkness Publishing Consultants, 1996.
Extraordinary People: Understanding Savant Syndrome. Reprint edition, Darold A. Treffert, iUniverse, Inc., 2000.
Islands of Genius. Darold A. Treffert and Gregory L. Wallace in Scientific American, Vol. 286, No. 6, pages 76-85; June 2002.
www.savantsyndrome.com, a Web site maintained by the Wisconsin Medical Society.

Scientific American, December 2005

استدلال مضاد^(*)

هل أحد البروتينات الالتهابية هو الكولسترول القادم؟



رواسب دهنية (شحمية) يطلق عليها اسم اللويحات (المنطقة المتضخمة ذات اللون البرتقالي)، تشكلت في الأوعية الدموية، كما تبدو في التصوير الطبقي المحوري المحوسب للشريان السباتي عند تفرعه إلى فرعين رئيسيين. قد تحفز هذه اللويحات على إنتاج البروتين المضاد c (CRP)، وهو أحد العوامل المحتملة لحدوث مرض قلبي.

تخفيض مستوى البروتين CRP يعادل على الأقل في أهميته تخفيض الكولسترول، كما تدعم الفكرة القائلة: إن البروتين CRP ليس مؤشرا طبيا لكشف عامل الالتهاب وحسب، وإنما هو عامل مسبب لمرض القلب. ويوافق «نسن» الرأي قائلا: «يجب علينا مستقبلا أن نهاجم البروتين CRP بالقوة نفسها التي نهاجم بها الكولسترول». ويعتقد «ريدكر» أن الأشخاص الأصحاء الذين يتصفون بمستويات طبيعية من

الكولسترول (بنسبة 130 ملغ/ديسيلتر من الدم)، فيما تعلق لديهم مستويات البروتين CRP قد يستفيدون من تناول الستاتينات... وقد بدأ «ريدكر» فعلا بدراسة جديدة على 15 000 شخص لتحري هذه الإمكانية.

وعلى الرغم من وجود هذه الأدلة القوية، يحذر بعض الخبراء من أنه من المطلوب إجراء مزيد من الأبحاث لإثبات أن البروتين CRP يسبب تصلب الشريان بشكل مباشر، أو أنه يجب تناول الستاتينات للسيطرة على البروتين CRP. يقول «D. سيسكوفيك» [المدير المشارك لوحدة الأبحاث الصحية الخاصة بأمراض القلب والأوعية الدموية في كلية الطب بجامعة واشنطن]: «هذه الدراسات توحي لي بأن الأدوية التي تخفض كلاً من الكولسترول LDL والبروتين CRP، قد يكون لها تأثير علاجي أكبر من تلك التي تخفض الكولسترول LDL وحسب، إلا أن هذا لن يغير من الطريقة التي أعالج بها مرضاي». أما سبب ذلك فيعود إلى أن الستاتينات قد لا تخفض البروتين CRP بشكل مباشر، إنما قد تتدخل في مجرى المسار الالتهابي في الجسم، ومن ثم فإن تراجع الالتهاب ربما هو الذي يخفض من المخاطر القلبية الوعائية، وبهذا يكون البروتين CRP هو مجرد مؤشر إلى حدوث المرض القلبي وليس سببا فيه.

وفي الواقع، إن الآليات التي ترفع مستويات البروتين CRP ليست واضحة تماما، فكثير من العدوى (الأخماج) والأمراض المزمنة كالتهاب المفاصل الرثياني والسمنة والتدخين وارتفاع

إن تسكين (تهدئة) التهاب ما في الجسم بهدف مكافحة مرض القلب، ربما يكون بنفس أهمية تخفيض الكولسترول في الدم، وفقا لما ذكرته دراستان نُشرتَا في الشهر 2005/1. ويرى بعض الخبراء هذه النتائج على أنها دليل على ضرورة المبادرة بمراقبة، وربما معالجة، الالتهاب عند المرض القلبي، ولكن البعض الآخر لم يقتنع حتى الآن بأن هذا الإجراء قد يطيل من أعمار هؤلاء المرضى.

وقد أصبح معروفا أن الالتهاب يؤدي دور وسيط أساسي في تصلب الشرايين؛ إذ إنه يلحق الأذى ببطانة جدرانها، كما يسهم في تشكيل اللويحات الدهنية (الشحمية) وتمزقها. ومنذ عام 1997 بدأ «P. ريدكر» [وهو طبيب قلب في مستشفى بريكهام] بملاحظة علاقة بين مرض القلب ومركب التهابي يطلق عليه اسم البروتين المضاد c (CRP) c-reactive protein. فإذا ما زاد مستوى البروتين CRP أكثر من 2ملغ/ليتر في الدم على سبيل المثال، أصبحت خطورة النوبات القلبية ثلاثة أمثال النسبة الطبيعية، وتضاعفت خطورة السكتات الدماغية.

وفي دراستين منفصلتين نشرتَا بتاريخ 2005/1/6 بالمجلة *New England Journal of Medicine*، قام «ريدكر» و«S. نسن» [الذي يعمل في مستشفى كليفلاند] بدراسة نحو 4300 مريض يعانون مرضا قلبيا شديدا ويتناولون جرعات متوسطة أو عالية من عقارات الستاتين statin، بهدف تخفيض نسب الكولسترول لديهم. وتساءل الطبيبان لماذا أظهر بعض هؤلاء المرضى تحسنا أفضل من غيرهم، مع أن الجميع بلغوا النسبة المنخفضة نفسها من الكولسترول LDL (وهو الكولسترول الضار).

وبينما أكد «ريدكر» اكتشافاته الأولية في دراسته الثانية، وجد «نسن» أن هناك علاقة بين خفض مستويات البروتين CRP وتراجع تصلب الشرايين (تصبح اللويحات أصغر)؛ كما وجد، وهو الأهم، أن خفض البروتين CRP له تأثير مفيد ومستقل عن خفض الكولسترول LDL، مما يدل على أن الستاتينات تخفض من مستوى الكولسترول والبروتين CRP معا.

يقول «ريدكر» إن هذه التقارير توضح أن

الدهون المؤذية^(**)

يرى بعض الباحثين أن مستويات البروتين المضاد c (CRP) ترتفع خلال تطور المرض القلبي، ويعود السبب في ذلك إلى الالتهاب الذي تحدثه اللويحات الدهنية (الشحمية) التي تتوضع على جدران الشرايين الإكليلية (التاجية). ولكن البعض الآخر غير مقتنع بأن هذه الرواسب الدقيقة يمكنها إنتاج الكثير من البروتين CRP. وبدلاً من ذلك اعتمدوا الفكرة القائلة بأن الأنسجة الدهنية، وخصوصاً تلك الموجودة حول الخصر، تعمل عمل عضو مسبب للالتهاب، حيث تقوم الخلايا البلعمية الكبيرة التي تغزو الأنسجة الدهنية بإرسال إشارات إلى الكبد لإنتاج المزيد من البروتين CRP. فإذا ما ثبت بالفعل أن الخلايا الدهنية تحفز على إنتاج البروتين CRP أكثر مما تحفز عليه اللويحات داخل الشرايين، عندها تكون المستويات العالية من البروتين CRP مؤشرا إلى عوامل خطيرة متعلقة بالسمنة أكثر من علاقتها بالمرض القلبي بشكل مباشر.

الضغط الشرياني والداء السكري، ترفع جميعها مستوى البروتين CRP. وعندما يخفض أحدهم من وزنه ويمتنع عن التدخين ويضبط مستوى السكر في الدم ومستوى ضغط الدم الشرياني فإن مستويات البروتين CRP لديه تنخفض كذلك، وهذا يثبت أن البروتين CRP هو بمثابة مؤشر إلى وجود تلك المشكلات المترافقة مع الالتهاب.

والأهم من ذلك، أن بعض الخبراء يشكون في فائدة البروتين CRP بالنسبة إلى تحري screening المرض في العيادة؛ هذا ما أشار إليه <D. لويدي-جونز> [وهو طبيب قلب في جامعة نورث وسترن] قائلا: «إنه لا يساعدني على تحديد من المرضى معرض للخطر - من منهم علي أن أعالج أو لا أعالج». ويعتقد <لويدي-جونز> (وهو في ذات الوقت مختص في علم الأوبئة، وكان قد درس عوامل الخطورة في المرض القلبي بعمق) أن هناك تركيزا كبيرا على أن البروتين CRP يمكنه أن يشير إلى درجة خطورة نسبية ذات

دلالة إحصائية، لكنه في الواقع لا يضيف شيئا إلى قدرتنا على تمييز الخطورة. فعلى سبيل المثال، بإمكان الأطباء، بنسبة 80%، معرفة من سيصاب مستقبلا بمرض قلبي ومن سينجو منه عن طريق تقدير عوامل الخطورة التقليدية، مثل مستوى الكوليسترول والسمنة. وعندما يضاف عامل البروتين CRP إلى هذا المزيج، يردف <لويدي-جونز> قائلا: «فإن هذه النسبة تزداد لتصل إلى 81%. قد تبدو هذه النسبة ذات دلالة إحصائية، ولكنها لا تساعدني كطبيب».

إن وجهة نظر كهذه ستخيب - بلا شك - أمل مصنعي أدوية الستاتينات الذين مولوا الدراسات الأخيرة. ويضيف <لويدي-جونز> «إن لقطار البروتين CRP هذا الكثير من الزخم، ولكن إذا ما أمعنا النظر فيه فلن نجده على المستوى الرفيع الذي يروج له.» ■

<D. مارتينديل>

الرنا (RNA) يهبُ إلى الإنقاذ^(*) طرز جديدة من التوريث تخل بقوانين مندل.



إن طفرة البتلات الملتحمة (في اليمين)، اختفت في الأنسال التي بنت سوية (في اليسار).

يرتكز المبدأ الأساسي في البيولوجيا المعاصرة على أن المعلومات الوراثية تُورث على شكل دنا DNA، يُنسخ إلى رنا RNA، ويعبر عنه كبروتين، فالصدارة هي للدنا. بيد أن الاكتشاف المثير للإعجاب أن بوسع نوع من النبات أن يستدعي جينات كان أباه قد فقدوها، يؤكد اعتراف البيولوجيين المتزايد بالرنا كجزء حيوي متعدد المهام.

لقد احتل الرنا فعلا مكانته الخاصة بين الجزيئات البيولوجية. فبوسعه اختزان المعلومات الوراثية، تماما كما يفعل الدنا. ولكنه يستطيع أيضا أن يتخذ أشكالا معقدة ثلاثية الأبعاد، وأن يحفز تفاعلات كيميائية، تحدث فيه ذاته، تماما كما تفعل البروتينات. ويقول <R. رينان> [عالم الوراثة في جامعة كونكتيكت]: «إن الرنا هو دنا مضاف إليه ستيرويدات. فبوسعه أن ينجز تقريبا أي عمل كيميائي حيوي». ويحتمل أن تكون الحياة قد بدأت بـ«عالم الرنا»، من حيث إن تسلسلات مُضعدة من جزيئات الرنا أنجزت عمليين معا: عملت كقالب template جيني،

وكما كينة توالدية.

إن النبات *Arabidopsis thaliana* الذي ينتمي إلى فصيلة الخردل، قد يكشف عن طريقة أخرى، استثمرت فيها الحياة قدرة الرنا على الاختزان الوراثي. لقد درست <S. J. لول> و<E. R. برويت> [من جامعة بيردو] نباتات ملتحمة البتلات تنتمي إلى النوع *Arabidopsis*. إن في مثل هذه النباتات نسختين طافرتين لجينة تدعى هُتهْد *hothead* (الرأس الساخن)، تختلف عن الجينة السوية بزواج واحد من القواعد bases. ومما يؤثر الاستغراب أن نسبة ضئيلة من أنسال نباتات

إعادة تكويد رناوي^(١)

إن طريقة التوريث اللامندلية^(٢) التي اكتشفت في نبات *Arabidopsis* قد تكون مجرد مثال لمقدرة الرنا على إدخال تنوعات غير موجودة في دنا الكائن الحي. والمثال الآخر هو إعادة التكويد، حيث تبدل الخلية وحدة فرعية واحدة من جزيء الرنا، كانت قد انتسخت من الدنا، فينجم عن ذلك شكل بروتيني مختلف عن ذاك الذي تُعَيِّنُه الجينة. ولقد وجد المختص بالوراثة <R> رينان< من جامعة كونكتيكونت> أن إعادة التكويد تعتمد كلياً على بنية ثلاثية الأبعاد لها شكل عقدة أو عروة، يشكلها جزيء الرنا، وليس على تسلسله. ويفترض حرينان< أن إعادة التكويد، التي لم تلاحظ حتى الآن إلا في بروتينات الخلايا العصبية، قد تقدم للكائنات الحية طريقة لتجريب تصاميم بروتينية جديدة، دون اللجوء إلى إحداث تغيير دائم في جينة حاسمة.

وعلى الرغم من ذلك، قد يمثل الرنا آلية ملائمة، ذلك أن الباحثين كشفوا النقاب عن طرق عديدة، يحور بواسطتها الرنا تعبير الدنا أو بنيته، كما أنه قد يفسر إنتاج جزيئات من الرنا لا تترجم إلى بروتينات، بطريقة مازال يكتنفها الغموض. إن أنواعاً كثيرة، تشمل نبات *Arabidopsis* والأرز والفأر والإنسان، تنسخ كميات مذهشة من الرنا بدءاً من شريطة الدنا الخاطئ؛ أي الشريطة المقابلة لتلك التي تُعَيِّنُ البروتين. ويقول <إيكر> [عالم بيولوجيا النبات في معهد سولك للدراسات البيولوجية في لاهويا بكاليفورنيا]: «لعل جزءاً من ذلك القالب مرده إلى تلك الشريطة». ويرى <إيكر> أن لدى النباتات كثيراً من الإنزيمات التي تستطيع أن تضاعف الرنا، إضافة إلى نظام لنقل المادة الكيميائية بين الخلايا.

ويخمن فريق جامعة بيردو في أن أرشيفا منفصلاً قد يوفر حماية في الأيام العصيبة، كالجفاف الطويل، فيضع تحت تصرف النبات جينات كانت قد ساعدت أسلافه على البقاء. وقد يحمل بهذا المعنى بعض الشبه لخاصة غريبة أخرى، يتميز بها الرنا، وتعرف بإعادة التكويد (انظر الهامش في اليسار).

وتتمثل الخطوة التالية في تحديد مدى انتشار آثار هذه الظاهرة. وهناك حالات عصبية على التفسير من العودة للتقائية لأمراض وراثية تظهر أيضاً لدى الإنسان، مع العلم بأن التواتر الطبيعي لمثل هذه الحوادث مازال غامضاً. وسيفاجاً <برويت>، شأنه شأن باحثين آخرين، إذا ما اقتصرَت الآلية على النبات، ويقول: «يصعب الاعتقاد أن شيئاً ما له هذه العمومية سوف لا يستمر في كائنات حية أخرى.» ■ <JR> منكل

<لؤل> و<برويت> الطافرة ارتدت فيها نسخة واحدة من الجينة مُتَّهَد ارتداداً عفويًا إلى النسخة السوية، مُصلحاً طفرتها الموضعية. إن مجرد وقوع حادثة واحدة من هذا النمط أمر غير محتمل إحصائياً خارج المستعمرات البكتيرية ذات التوالد السريع. لقد استبعد الباحثان استبعاداً منهجياً التفسيرات الروتينية، كالتلقيح المتصالب لنبات طافر بنبات سوي، أو حدوث معدل من الطفر بالارتفاع، أو وجود نسخة أخرى خبيثة من الجينة مُتَّهَد.

أضف إلى ذلك، أن طوافر الجينة مُتَّهَد تحوي تغيرات في أقسام أخرى من دناها، توافقت كلها مع تسلسلات أجداد أو أجداد أجداد النباتات، ولكن ليس مع آبائها. ويوحى هذا التوافق بأن نسخة مساندة من جينوم أسلاف النبات قد انتقلت بطريقة ما إلى النبات الطافر، وذلك كما أشار الباحثان في تقريرهما الذي نشر في عدد 2005/3/24 من مجلة «نيتشر». فإذا ما صح ذلك، فإن هذه القفزة ستكون إخلالاً بالقواعد السوية لعلم الوراثة التي أرساها <كريگور مندل> عام 1865. ولأن الباحثين لم يتمكنوا من العثور على تسلسل دناوي يمكن أن يؤدي هذا الدور، فقد اقترحا أن القالب المساند ليس سوى رنا ذي شريطة مزدوجة (يكون الرنا عادة ذا شريطة أحادية). وكما يقول <R> <جوركنسن> [عالم النبات في جامعة أريزونا]: «إن الرنا المزدوج الشريطة فعال (ساخن)، وهذا ضروري في تداخلات الرنا، وهي طريقة شائعة لتعطيل فعل الجينات. ولكن لا يوجد أيضاً سبب للاعتقاد بأنه ليس جزيئاً دناوياً، ولا للاعتقاد بأنه يجب أن يكون مزدوج الشريطة.»

لهب نادر^(١)

انفجار مكينيتار^(٢) يحل بشكل جزئي لغز أشعة كاما.

لأشعة كاما استعصت حتى الآن على التعليل. وعلى الرغم من بُعد ذلك الانفجار عنا مسافة 50 000 سنة ضوئية، فقد كان أسطع حتى من القمر عندما يكون بديراً. لكن لم يره أحد حقاً، لأنه قُدِّفَ تقريباً كل طاقته الهائلة على شكل أشعة كاما الطاقية energetic التي غمرت المقرب Burst Alert Telescope المحمول على الساتل سويغت Swift الذي أطلقتته الوكالة «ناسا» للدوران في مسار حول الأرض قبل رصد

كان أسطع انفجار كوني رُصد حتى الآن، ومازال الفلكيون يجرون نقاشات حامية الوطيس حول منشئه ونتائجه. لكن اللهب الضخم لهذا الانفجار، الذي رُصد في 2004/12/27، والذي ولَّده نجم غريب في مجرتنا، درب التبانة، يوفر حلاً جزئياً للغز في الفيزياء الفلكية عمره عشر سنوات. فقد تكون مثل هذه الانفجارات الهائلة، التي تحدث في مجرات بعيدة، هي المسؤولة، على الأقل، عن جزء من مجموعة خاصة من انبثاقات

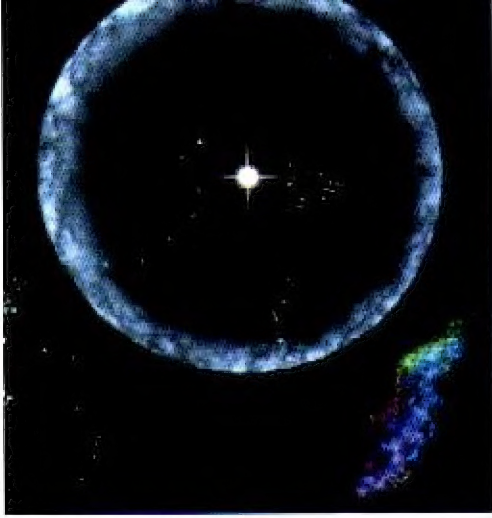
RNA Recoded (+)
specifies (١)

(٢) أي لا تتبع قانون مندل في انتقال الصفات الوراثية.

RARE FLARE (+)

(١) magnetar [انظر في هذا العدد:

«الكنيتارات: نجوم فائقة المغنطيسية»]



يمثل هذا الرسم، الذي أبدعه خيال فنان، اللهب الناجم عن انفجار 2004/12/27، وهو أسطع انفجار شوهد حتى الآن. اللهب منتشر من النجم SGR 1806-20.

على سبيل التهكم: «من المحتمل ألا يكون هذا العدد بعيدا أكثر من 20 ضعفاً له، وهذا شيء جيد إلى حد ما في مثل هذه المهنة.»

وفيما يتعلق بسبب الانبثاقات القصيرة الأمد الأخرى لأشعة كاما، تقول «C. كوفيليتو» [من مركز مارشال الفضائي التابع للوكالة ناسا] إن أقوى تفسير لها هو أنها نتيجة اندماج نجمين نيوترونيين كل منهما يدور حول الآخر. لكن «بالمر» يقول: «إن حدث 2004/12/27 جعلنا نؤكد الآن أن اندماجات النجوم النيوترونية ليست مسؤولة عن

جميع الانبثاقات القصيرة الأمد لأشعة كاما. أما كونها مسؤولة عن أي من هذه الانبثاقات، فهذه مسألة لاتزال مفتوحة للبحث.» ويوافق «ويجرز» على أنه مازال من غير الواضح أن اندماجات النجوم النيوترونية تولّد هذا النوع من انبثاقات أشعة كاما.

ومع ذلك، فمن المحتمل أن تُحل هذه المسألة قريباً. ويتوقع الفلكيون أن الساتل سوفيت، الذي استكمل أدائه في أوائل الشهر 2005/4، سيحدد بدقة المواقع السماوية لعدد من الانبثاقات القصيرة الأمد والمسافات التي تفصلها عنا، وهذا يجعل بمقدور العلماء البدء بمعالجة هذه الظواهر المبهمة. أما «بالمر» فهو متفائل، ويعبر عن شعوره هذا بقوله: «ربما سلط الانبثاق التالي لأشعة كاما الضوء على هذه الظواهر.»

■

«G. شيلينك»

اللهب بخمسة أسابيع فقط. ويعلق «R. ويجرز» [المختص في انبثاقات أشعة كاما بجامعة أمستردام في هولندا] على هذا الانفجار بقوله: «لقد كان حدثاً مذهلاً.»

بعد سماع نبأ الانفجار الضخم، لمعت في رأس «D. بالمر» [من مختبر لوس ألاموس الوطني وأحد علماء الساتل سوفيت] فكرة مؤداها أنه لو حدث لهب ضخم مشابه في مجرة بعيدة، لتعذر تمييز هذا اللهب مما يسمى انبثاق أشعة كاما القصير الأمد، الذي يدوم أقل من ثانيتين أو نحو ذلك. وهذه الانبثاقات القصيرة الأمد مختلفة تماماً عن انبثاقات أشعة كاما الطويلة الأمد، التي تدوم من بضع ثوان إلى عدة دقائق. ويعتقد الفلكيون أن الانبثاقات الطويلة الأمد لأشعة كاما، التي اكتُشفت جميعاً حتى الآن في المجرات البعيدة تشير إلى الانفجار الكارثي الختامي لنجوم ذات كتل فائقة تدوم بسرعة. بيد أن هذه الآلية المقترحة ربما لا تنطبق على الانبثاقات القصيرة الأمد لأشعة كاما.

قام «بالمر» بتطوير فكرته واكتشف أن السنة اللهب الهائلة تقدّم تعليلاً جزئياً على الأقل للانبثاقات القصيرة الأمد لأشعة كاما. وفي تحليل سيُنشر في المجلة *Nature*، يستنتج «بالمر» وزملاؤه أن من المحتمل جداً تحليل بضعة أجزاء في المئة على الأقل من الانبثاقات القصيرة الأمد بهذه الطريقة. واستناداً إلى السطوع المرصود والتردد المتوقع لهذه الألسنة العملاقة من اللهب، فإن هذه الأحداث التي يجري بضع عشرات منها سنوياً، ستكرر في مجرات أخرى قريبة نسبياً. ومع أن هذا القدر من الأحداث لا يكفي لتفسير جميع الانبثاقات القصيرة الأمد لأشعة كاما، فإن «بالمر» يرى أن «خمسة في المئة تقريب جيد.» وهو يقول

انفجار أعظم نوعاً ما^(١)

حدث انفجار 2004/12/27 - وهو أعظم انفجار رُصد حتى الآن - في نجم نيوتروني قريب نسبياً، وهو جثة نجم صغير فائق الكثافة. ولهذا النجم، الذي يسمى SGR 1806-20، حقل مغنطيسي أقوى من حقل الأرض المغنطيسي بـ 10¹⁵ مرة، وهذا يجعله قادراً على أن يستلّ مغناطيس سيارتك من جيبك لو كان بُعدنا بقدر بُعد القمر عن الأرض. والأكثر احتمالاً أن هذا الانفجار نتيجة لزوال نجمي غير فجأة ترتيب الحقل المغنطيسي للنجم. وقد يتكرر هذا ثانية لأن الانفجار لم يدمر النجم.

A Pretty Big Bang (١٠)

احتراق مرتين^(١١)

الأحمر الباردة. وقد بينت قياسات أجريت بالمقارب الراديوية للنجم المعروف باسم جسم ساكورا^(١١)، أو V4334 Sgr، وجود جيشان لغازات تتأين حول النجم، وهذه ظاهرة تتطلب أن تكون درجة حرارته ارتفعت قليلاً منذ أواخر التسعينات من القرن العشرين. وربما كان هذا التحول السريع نتيجة امتزاج الأجزاء الداخلية من القزم امتزاجاً ضعيفاً، وهذا يدفع النجم إلى إحراق الوقود القريب من سطحه فقط، ومن ثم إلى نفاذ هذا الوقود - وهذه فرضية قدمها الباحثون في جامعة مانشستر ونشروها في مجلة *Science* بتاريخ 2005/4/8.

■

«JR. منكل»

حين ينفد وقود نجم هرم، فإنه يتمدد ليصبح عملاقاً أحمر، ثم ينهار متحولاً إلى قزم أبيض. ومن الممكن أن تجتاز بعض الأقزام البيض مرحلة ثانية تتحول فيها إلى عمالقة حمراء، لأن الانهيار يضغط الوقود المتبقي ويسخنه، لكن علماء الفيزياء الفلكية توقعوا احتمال استمرار مرحلة العملاق الأحمر الثانية بضعة قرون. وقد أبدى قزم أبيض اشتعل ثانية عام 1996 علامات على أنه سخن مرة أخرى، وهذه إشارة إلى أنه مرّ بمرحلة العملاق

TWICE BURNED (١١)
Sakurai's object (١١)